



ผลของแร่ดินเบาและเถ้าชานอ้อยต่อคุณสมบัติของ
คอนกรีตบล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนัก

โดย

นายสุธี จรรย์ธีรเวช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2552

ผลของแร่ดินเบาและถ้าชานอ้อยต่อคุณสมบัติของ
คอนกรีตบล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนัก

โดย

นายสุธี จรรย์ธีรเวช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2552

Effect of Diatomite and Sugarcane Bagasse Ash on Properties of
Non-Load Bearing Concrete Block

By

Mr. Sutee Jariyateeravate

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Thammasat University

2009

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นายสุธี จรรย์ธีรเวช

เรื่อง

ผลของแร่ดินเบาและเถ้าซังอ้อยต่อคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนัก

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ดร. อิมอ้อย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีรยา อิมอ้อย)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร. วิริยะ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุรฉัตร ฉัตรวิระ)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ดร. วิริยะ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย รักสุนทร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ดร. นิคม
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย นิมิตรยงสกุล)

คณบดี

ดร. วิมล
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรุยา วิสกุล)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาคุณสมบัติทางกล และความคงทนของ คอนกรีตบล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนักประเภทไม่ควบคุมความชื้น (Hollow non-load bearing and non-moisture controlling concrete block) ขนาด 70 x 190 x 390 ลูกบาศก์มิลลิเมตร โดยทำการแทนที่หินฝุ่นซึ่งเป็นมวลรวมหลักที่นิยมใช้ในการผลิตคอนกรีตด้วยแร่ดินเบา จากเหมืองในอำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง และเถ้าขาน้อย จากโรงงานผลิตน้ำตาลที่ใช้ขาน้อย เป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า คุณสมบัติที่ทำการศึกษาประกอบด้วย องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ ของแร่ดินเบาและเถ้าขาน้อย ทดสอบคอนกรีต บล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนักที่ผสมหินฝุ่นกับแร่ดินเบาหรือเถ้าขาน้อย ทั้งคุณสมบัติทางกล และความคงทน นอกจากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกทั้งสองกับข้อกำหนด ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 58-2533 เพื่อประเมินอัตราส่วนการแทนที่ ที่เหมาะสมของ แร่ดินเบาและเถ้าขาน้อยในหินฝุ่น เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบผลิตคอนกรีตบล็อก โดยกำหนดปริมาณ การแทนที่ของแร่ดินเบาและเถ้าขาน้อยในหินฝุ่น ที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดย น้ำหนัก อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 (w/c) มีค่า 0.53-0.64 โดยน้ำหนัก ขึ้นอยู่กับ เงื่อนไขในการขึ้นรูปได้

จากผลการทดสอบพบว่า ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักของทั้ง แร่ดินเบาและเถ้าขาน้อย ค่าดัชนีกำลังที่อายุ 28 วัน ของแร่ดินเบาและเถ้าขาน้อยมีค่าร้อยละ 67 และ 53 ตามลำดับ ในส่วนคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่ผสมหินฝุ่นกับแร่ดินเบาหรือเถ้า ขาน้อย พบว่าสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของแร่ดินเบาและเถ้าขาน้อยมีผลทำให้ หน่วยน้ำหนัก ค่าการนำ ความร้อน การพัฒนากำลังอัด ความคงทนต่อการกัดกร่อนเนื่องจากกรด และค่าสัมประสิทธิ์ การดูดซับเสียงของคอนกรีตบล็อกที่ผสมหินฝุ่นกับเถ้าขาน้อย มีค่าลดลง ในขณะที่ค่า สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของคอนกรีตบล็อกที่ผสมหินฝุ่นกับแร่ดินเบา และค่าการดูดซึมน้ำ สูงกว่าคอนกรีตบล็อกปกติที่ผสมหินฝุ่นอย่างเดียว นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาข้อกำหนดตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 เป็นเกณฑ์จะสามารถผลิตคอนกรีตบล็อกกลวง ชนิดไม่รับน้ำหนักประเภทไม่ควบคุมความชื้นโดยใช้แร่ดินเบาและเถ้าขาน้อย แทนที่ได้ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักของหินฝุ่น ตามลำดับ

Abstract

This research is to study mechanical and durability of hollow non-load bearing and non-moisture controlling concrete block in a size of 70 x 190 x 390 mm³. Dusty limestone rock which is a main aggregate and widely use in concrete block production, is replaced with diatomite or sugarcane bagasses ash. The diatomite comes from a quarry in Mae-tha district, Lampang province. In addition, the sugarcane bagasse ash comes from a sugar production factory at which sugarcane is used as a fuel for boiling water for electrical-power generating process. The basic properties studied included chemical compositions and physical properties of diatomite and sugarcane bagasse ash. The mechanical and durability properties of hollow non-load concrete block containing diatomite and sugarcane bagasse ash are also investigated. Furthermore, the properties of both materials are compared with the specification criteria in accordance with the Thai Industrial Standard (TIS) 58-2533. The replacement of diatomite and sugarcane bagasse ash in dusty limestone rock were 0, 10, 15 and 20 % by weight and water-to-Portland cement Type I ratios were varied from 0.53 to 0.64 depending on formation conditions.

From the tested results, it was found that silicon dioxide (SiO₂) was a main composition of both diatomite and sugarcane bagasse ash, and their strength activity indexes at the age of 28 days were 67% and 53%, respectively. The increase in proportions of diatomite and sugarcane bagasse ash resulted in the decrease of unit weight, thermal conductivity, strength development rate, resistance due to acid attacks and sound absorption coefficient of dusty limestone rock-sugarcane bagasse ash concrete block. Whereas, the coefficient of sound absorption of dusty limestone rock-diatomite concrete block and water absorption are higher than that of the normal concrete block mixed with dusty limestone rock. Moreover, when comparing with the specification criteria of the TIS 58-2533, it can be concluded that the suitable use of diatomite and sugarcane bagasse ash to replace dusty limestone rock is 10% and 20% by weight of dusty limestone rock, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดี ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บุรฉัตร ฉัตร์วีระ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วีรยา จิมอ้อย ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย รักสุนทร และ รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย นิमितยงสกุล กรรมการวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและชี้แนวทางอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์นี้

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณห้างหุ้นส่วนจำกัด ลำปางภูมิวัฒนา อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง และบริษัท ด่านช้าง ไบโอ-เอ็นเนอร์ยี จำกัด อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์แรงแดินเบาและเถาซานอ้อย ตามลำดับ โรงงานผลิตคอนกรีตบล็อก วี.อาร์. ตำบลสนับทึบ อำเภอดำรงวิทยะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่ให้ใช้เครื่องผลิตคอนกรีตบล็อก บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของแรงแดินเบา เถาซานอ้อย และหินฝุ่น และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์ ที่อนุเคราะห์ให้ใช้ห้องทดสอบการวัดค่าการดูดซับเสียง คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) ตลอดจนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี และต้องขออภัยสำหรับทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้

ท้ายสุดนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างทำให้วิทยานิพนธ์นี้ประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดี

สุทธิ จริยธีรเวช

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2552

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	(2)
กิตติกรรมประกาศ.....	(4)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญภาพประกอบ.....	(10)
สัญลักษณ์และคำย่อ.....	(13)

บทที่

1. บทนำ.....	1
ความเป็นมาของการศึกษา.....	1
ประเด็นปัญหา.....	2
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	6
ขอบเขตของการศึกษา.....	6
ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา.....	7
2. ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง.....	8
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแร่ดินเบา.....	8
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเก้าอี้สานอ้อย.....	9
งานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วัสดุมวลรวมต่างๆ เพื่อการผลิตคอนกรีตบล็อก.....	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	16
รายละเอียดทั่วไปของคอนกรีตบดล็อกไม่รับน้ำหนัก.....	16
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	20
ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ.....	21
องค์ประกอบของมวลรวม.....	21
ความพรุนตัว.....	23
คุณสมบัติการนำความร้อน.....	24
คุณสมบัติการดูดซับเสียง.....	24
คุณสมบัติทางด้านความทนทาน.....	25
4. วิธีการวิจัย.....	28
ทั่วไป.....	28
วัสดุที่จะใช้ทำการวิจัย.....	28
รายละเอียดวิธีการทดสอบ.....	29
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
สถานที่ใช้ทำการทดสอบ.....	33
วิธีการผสมวัสดุ.....	33
การทำตัวอย่างทดสอบ และการบ่มคอนกรีตบดล็อก.....	34
สัดส่วนการผสมของคอนกรีตบดล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก.....	36
จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ.....	37
5. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	38
ทั่วไป.....	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินเบา	
และถ้ำซานอ้อย.....	38
คุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา	
และผสมถ้ำซานอ้อย.....	45
คุณสมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา	
และผสมถ้ำซานอ้อย.....	50
คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบาและผสมถ้ำซานอ้อย.....	51
คุณสมบัติการดูดซับเสียงของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา	
และผสมถ้ำซานอ้อย.....	54
คุณสมบัติความคงทนของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบาและผสมถ้ำซานอ้อย.....	57
 6. สรุปผลการศึกษาวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	 69
 สรุปผลการศึกษาวิจัย.....	 69
ข้อเสนอแนะ.....	74
 บรรณานุกรม.....	 75
 ภาคผนวก.....	 80
ก. การกระจายขนาดผลของมวลรวมและสัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก.....	81
ข. ผลการทดสอบทางกายภาพของคอนกรีตบล็อก.....	86
ค. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อก.....	93
ง. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านความคงทนของคอนกรีตบล็อก.....	107
จ. ภาพประกอบการทำวิจัย.....	146
 ประวัติการศึกษา.....	 155

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ขนาดมาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก.....	17
3.2 ข้อกำหนดด้านความต้านแรงอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก.....	19
3.3 ข้อกำหนดความขึ้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภทควบคุมความขึ้น.....	19
3.4 กำลังอัด และโมดูลัสความยืดหยุ่นของหินบางประเภท.....	22
3.5 ขนาดคละมาตรฐานของมวลรวมละเอียด.	23
4.1 สัดส่วนผสมของวัสดุต่างๆในการผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก.....	36
4.2 จำนวนตัวอย่างของคอนกรีตบล็อกที่นำมาทดสอบ.....	37
5.1 องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินเบา เถ้าขาน้อย และหินฝุ่น.....	39
5.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินเบา เถ้าขาน้อย และหินฝุ่น.....	41
6.1 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกประเภทต่าง.....	73
ก.1 ขนาดคละมาตรฐานของมวลรวมละเอียด.....	81
ก.2 ผลการทดสอบการหาขนาดคละของหินฝุ่น.....	81
ก.3 ผลการทดสอบการหาขนาดคละของแร่ดินเบา.....	82
ก.4 ผลการทดสอบการหาขนาดคละของเถ้าขาน้อย.....	82
ก.5 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) ของวัสดุ.....	83
ก.6 การกระจายขนาดคละของวัสดุมวลรวมหินฝุ่นผสมแร่ดินเบา.....	84
ก.7 การกระจายขนาดคละของวัสดุมวลรวมหินฝุ่นผสมเถ้าขาน้อย.....	84
ก.8 สัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสม.....	85
ข.1 ผลการทดสอบการชั่งน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกในสภาวะต่างๆ.....	86
ข.2 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ หน่วยน้ำหนักและปริมาณความขึ้นของคอนกรีตบล็อก..	88
ข.3 ผลการทดสอบความพูน และการนำความร้อน ของคอนกรีตบล็อก.....	91
ข.4 ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ของคอนกรีตบล็อก.....	92
ค.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก.....	93
ง.1 ผลการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก.....	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.2 ผลการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดไนตริก.....	109
ง.3 ผลการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดไฮโดรคลอริก.....	111
ง.4 ผลการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดอะซิติก.....	113
ง.5 ผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตบดล็อก.....	115
ง.6 ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตบดล็อก.....	118
ง.7 ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบดล็อก.....	125

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการเตรียมแร่ดินเบา.....	3
1.2 ขั้นตอนการเตรียมเถ้าขาน้อย.....	5
4.1 เครื่องขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก.....	32
4.2 การลำเลียงวัสดุมวลรวมลงผสมในเครื่องกวน.....	34
4.3 การลำเลียงวัสดุที่ผสมแล้วเข้าเครื่องอัดคอนกรีตบล็อก.....	34
4.4 กระบวนการผลิตและการบ่มคอนกรีตบล็อกลงชนิดไม่รับน้ำหนัก.....	36
5.1 การกระจายขนาดผลของวัสดุมวลรวมแต่ละชนิดสำหรับผลิตคอนกรีตบล็อก.....	42
5.2 การกระจายขนาดผลของวัสดุมวลรวมหินฝุ่นผสมแร่ดินเบา สำหรับผลิตคอนกรีตบล็อก.....	43
5.3 การกระจายขนาดผลของวัสดุมวลรวมหินฝุ่นผสมเถ้าขาน้อย สำหรับผลิตคอนกรีตบล็อก.....	43
5.4 ภาพขยายแร่ดินเบา และเถ้าขาน้อย ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope..	44
5.5 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ.....	46
5.6 ร้อยละการลดลงของหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก ผสมแร่ดินเบา และเถ้าขาน้อย.....	46
5.7 คุณสมบัติการดูดซึมน้ำคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าขาน้อย.....	48
5.8 ค่าความพรุนของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ.....	49
5.9 ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ.....	50
5.10 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา.....	51
5.11 ค่ากำลังอัดเทียบเท่าของคอนกรีตบล็อกปกติกับคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา.....	52
5.12 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อย.....	53
5.13 ค่ากำลังอัดเทียบเท่าของคอนกรีตบล็อกปกติกับคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อย....	54
5.14 คุณสมบัติในการดูดซับเสียงของคอนกรีตบล็อก ผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าขาน้อย.....	55
5.15 ตัวอย่างไดอะแกรมแสดงอิทธิพลของความพรุนบริเวณผิวหน้า ที่มีต่อการสะท้อนของคลื่นเสียง.....	56

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.16 ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบดล็อกผสมแร่ดินเบาเนื่องจากกรดซัลฟูริก.....	59
5.17 ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบดล็อกผสมเถ้าขาน้อยเนื่องจากกรดซัลฟูริก.....	59
5.18 ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบดล็อกผสมแร่ดินเบาเนื่องจากกรดไนตริก.....	60
5.19 ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบดล็อกผสมเถ้าขาน้อยเนื่องจากกรดไนตริก.....	60
5.20 ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบดล็อกผสมแร่ดินเบาเนื่องจากกรดไฮโดรคลอริก..	61
5.21 ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบดล็อกผสมเถ้าขาน้อย เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริก.....	61
5.22 ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบดล็อกผสมแร่ดินเบาเนื่องจากกรดอะซิติก.....	62
5.23 ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบดล็อกผสมเถ้าขาน้อยเนื่องจากกรดอะซิติก.....	62
5.24 วิธีหาค่าการหดรอดของคอนกรีตบดล็อกผสมแร่ดินเบา.....	63
5.25 วิธีหาค่าการหดรอดของคอนกรีตบดล็อกผสมเถ้าขาน้อย.....	64
5.26 ค่าการหดรอดของคอนกรีตบดล็อกประเภทต่างๆ.....	65
5.27 น้ำหนักของคอนกรีตบดล็อกผสมแร่ดินเบาในสภาพเปียกสลับแห้ง.....	66
5.28 น้ำหนักของคอนกรีตบดล็อกผสมเถ้าขาน้อยในสภาพเปียกสลับแห้ง.....	66
5.29 การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบดล็อกผสมแร่ดินเบา ในสภาพเปียกสลับแห้ง.....	67
5.30 การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบดล็อกผสมเถ้าขาน้อย ในสภาพเปียกสลับแห้ง.....	68
จ.1 วัสดุมวลรวมที่ใช้ในการทำวิจัย.....	146
จ.2 แสดงขนาดผลของวัสดุมวลรวม.....	147
จ.3 แสดงขั้นตอนการผลิตคอนกรีตบดล็อก.....	148
จ.4 แสดงการชั่งน้ำหนักคอนกรีตบดล็อกในสภาวะต่างๆ.....	149
จ.5 แสดงการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตบดล็อก.....	150
จ.6 แสดงการทดสอบการดูดซับเสียงของคอนกรีตบดล็อก.....	150
จ.7 แสดงการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตบดล็อก.....	151

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
จ.8 แสดงการทดสอบความทนทานของคอนกรีตบล็อกต่อการกัดกร่อนของกรด.....	152
จ.9 แสดงการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตบล็อก.....	153
จ.10 แสดงการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก.....	154

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

มอก.	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ASTM	American Society for Testing and Material
Al_2O_3	อะลูมิเนียมออกไซด์
CaO	แคลเซียมออกไซด์
C_2S	ไดแคลเซียมซิลิเกต
C_3A	ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต
C_3S	ไตรแคลเซียมซิลิเกต
C_4AF	เตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์
$CH_3 COOH$	กรดอะซิติก
D10	คอนกรีตบล็อกใช้แรงแดินเบาร้อยละ 10 แทนหินฝุ่นโดยน้ำหนัก
D15	คอนกรีตบล็อกใช้แรงแดินเบาร้อยละ 15 แทนหินฝุ่นโดยน้ำหนัก
D20	คอนกรีตบล็อกใช้แรงแดินเบาร้อยละ 20 แทนหินฝุ่นโดยน้ำหนัก
Fe_2O_3	ไอรอนออกไซด์
F.M.	ค่าโมดูลัสความละเอียด
MgO	แมกนีเซียมออกไซด์
HCl	กรดไฮโดรคลอริก
HNO_3	กรดไนตริก
H_2SO_4	กรดซัลฟริก
K_2O	โพแทสเซียมออกไซด์
NO	คอนกรีตบล็อกปกติใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมทั้งหมด
Na_2O	โซเดียมออกไซด์
SA10	คอนกรีตบล็อกใช้เถ้าขาน้อยร้อยละ 10 แทนหินฝุ่นโดยน้ำหนัก
SA15	คอนกรีตบล็อกใช้เถ้าขาน้อยร้อยละ 15 แทนหินฝุ่นโดยน้ำหนัก
SA20	คอนกรีตบล็อกใช้เถ้าขาน้อยร้อยละ 20 แทนหินฝุ่นโดยน้ำหนัก
SiO_2	ซิลิคอนไดออกไซด์
SO_3	ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์
w/c	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของการศึกษา

ในวงการการก่อสร้างปัจจุบันได้มีการนำคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ มาใช้งานในปริมาณมาก และมีแนวโน้มที่จะใช้มากขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต อันเนื่องมาจากข้อดีของคอนกรีตบล็อกซึ่งได้แก่ ราคาวัสดุที่ต่ำ การใช้งานง่าย มีความแข็งแรงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ที่ระบุไว้ และมีขบวนการผลิตไม่ยุ่งยาก ใช้เวลาในการผลิตสั้น ทำให้มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานได้เป็นอย่างดี

การผลิตคอนกรีตบล็อกในปัจจุบันนิยมใช้ปูนซีเมนต์และหินฝุ่นเป็นส่วนประกอบหลัก ตัวอย่างสัดส่วนผสมที่นิยมใช้คือ อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นประมาณ 1 ต่อ 5 โดยน้ำหนัก และน้ำซึ่งใช้อยู่ที่น้ำหนัก 0.5 โดยประมาณ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูป ทั้งนี้หินฝุ่นที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตบล็อกเป็นหินปูนซึ่งได้มาจากการระเบิดภูเขาเช่นเดียวกับผลิตปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นการทำลายธรรมชาติ ดังนั้นการพัฒนาคอนกรีตบล็อกโดยใช้วัสดุอื่นมาทดแทนหินฝุ่นจึงเป็นสิ่งจำเป็นและดีกว่าวัสดุเดิมที่ใช้ โดยจะต้องคำนึงถึงการเลือกวัสดุเหลือใช้ตามธรรมชาติ น้ำหนักเบาเพื่อสะดวกในการทำงาน มีความคงทนถาวร และมีปริมาณมากพอกับความต้องการ เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำแร่ดินเบา (Diatomite) และเถ้าชานอ้อย (Sugarcane Bagasse Ash) มาเป็นวัสดุผสมรวม (Aggregates) ทดแทนหินฝุ่น โดยวัสดุทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ น้ำหนักเบา ราคาถูกกว่าหินฝุ่น และมีปริมาณมากพอในการใช้เป็นวัสดุดิบในการผลิต โดยที่แร่ดินเบาที่เกิดตามธรรมชาติในภาคเหนือมีปริมาณมากกว่า 250 ล้านตัน ครอบคลุมพื้นที่อาณาบริเวณประมาณ 4,000 ตารางกิโลเมตร ในขณะที่เถ้าชานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากโรงผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการต้มเพื่อนำไอน้ำไปหมุนเครื่องปั่นไฟผลิตกระแสไฟฟ้า ปริมาณที่ได้มีอยู่ประมาณ 50 ล้านตันต่อปี ซึ่งวัสดุทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณมากพอที่จะนำไปใช้ในอนาคต จึงเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาเพื่อพัฒนาวัสดุดังกล่าวใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภทไม่ควบคุมความชื้น (Hollow non-load bearing and non-moisture controlling concrete block) ที่มีคุณสมบัติทางกล และความทนทานที่ดีขึ้น

ประเด็นปัญหา

การผลิตคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก (Non-Load Bearing Concrete Block) ที่ใช้ในท้องตลาด ขนาดที่นิยมใช้คือ $70 \times 190 \times 390$ มิลลิเมตร มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 5-6 กิโลกรัมต่อก้อน โดยส่วนใหญ่ใช้วัสดุ 3 ชนิดมาผสมกันคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 น้ำ และวัสดุมวลรวมได้แก่ หินฝุ่นหรือทราย ขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตใกล้วัสดุประเภทไหนเป็นสำคัญ และมีอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อน้ำต่อมวลรวมเท่ากับ $2 : 1 : 10$ โดยน้ำหนัก ซึ่งจะเห็นว่าหินฝุ่นหรือทราย มีปริมาณมากถึงร้อยละ 77 ของปริมาตรคอนกรีตบล็อก ดังนั้น การนำแร่ดินเบา หรือ ถ้ำซานอ้อย ที่มีน้ำหนักที่เบากว่าเมื่อเทียบกับหินฝุ่นมาใช้ทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมอีกวิธีหนึ่ง แต่ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆด้าน ดังต่อไปนี้

1. คุณสมบัติและปริมาณที่สามารถนำมาใช้ในการผลิต

1.1 แร่ดินเบา (Diatomite) มีลักษณะรูพรุนจำนวนมาก สีครีมหรือขาวอมชมพู และบางแหล่งมีน้ำหนักเบาสามารถลอยน้ำได้จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ตัวกรองน้ำ ฉนวนกันความร้อน และฉนวนไฟฟ้า เป็นต้น แหล่งที่พบของประเทศอยู่ในภาคเหนือ โดยเฉพาะในเขตจังหวัดลำปางมีปริมาณมากกว่า 250 ล้านตัน (บุรฉัตร ฉัตรวีระ และคณะ, 2548) โดยในงานวิจัยนี้จะใช้วัสดุตัวอย่างของห้างหุ้นส่วนจำกัดลำปางภูมิวัฒนา อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง ซึ่งมีขบวนการผลิตตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทำเหมือง (ภาพที่ 1.1 (ก)) การเตรียมแร่ (ภาพที่ 1.1 (ข)) และการลำเลียงแร่ดินเบาที่ได้จากการขุดเจาะมาเก็บและตากให้แห้ง (ภาพที่ 1.1 (ค))

ขั้นตอนที่ 2 ทำการบดและแยกขนาดแร่ดินเบา (ภาพที่ 1.1 (ง)) เป็นการนำแร่ดินเบาที่ตากแห้งมาย่อยให้มีขนาดเล็กลงและทำการแยกขนาดโดยผ่านตะแกรง

ขั้นตอนที่ 3 บรรจุแร่ดินเบาที่ผ่านกระบวนการแยกขนาดจะถูกดูดด้วยลมขึ้นมาเก็บไว้ในไซโลเพื่อรอการบรรจุลงโดยที่ไซโลมีตัวดูดจับฝุ่นแร่ดินเบาเพื่อป้องกันมลภาวะทางอากาศ (ภาพที่ 1.1 (จ))



(ก) เหมืองแร่ดินเบา



(ข) แร่ดินเบาที่ได้จากการขุด



(ค) การขนย้ายเข้าสู่กระบวนการบด



(ง) การบดแร่ดินเบาและจัดเก็บ



(จ) การบรรจุแร่ดินเบา

ภาพที่ 1.1

ขั้นตอนการเตรียมแร่ดินเบา

1.2 เถ้าขานอ้อย (Sugarcane Bagasse Ash) มีลักษณะผิวค่อนข้างเรียบมาก และมีน้ำหนักเบา เถ้าดังกล่าวเป็นผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาลที่ใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง ปริมาณพลังงานที่ผลิตจากพลังงานชีวมวลขายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยคิดเป็นประมาณร้อยละ 2 ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตทั้งหมดในประเทศ เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นการใช้ประโยชน์จากขานอ้อยคิดเป็นร้อยละ 61.7 ส่วนที่เหลือเป็นการใช้ประโยชน์จากแกลบ เศษไม้ น้ำมันยางดำ และขยะ เป็นต้น โดยปัจจุบันเถ้าขานอ้อยที่ได้มีปริมาณ 50 ล้านตันต่อปี (ชัยวัฒน์ มั่นเจริญ, 2549) และเถ้าขานอ้อยส่วนใหญ่นำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตร เช่น เพาะชำต้นไม้ และผสมกากหมักกรองเพื่อทำปุ๋ย เป็นต้น

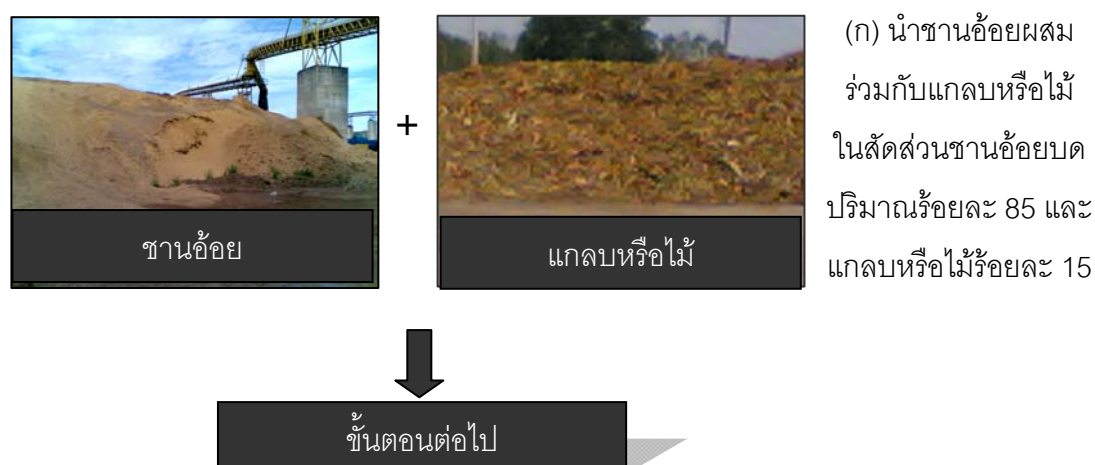
สำหรับงานวิจัยนี้ได้มีการนำเถ้าขานอ้อยจากบริษัท ด่านช้าง ไบโอ-เอ็นเนอร์ยี จำกัด ซึ่งเป็นโรงผลิตไฟฟ้าจากขานอ้อย อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งมีขบวนการผลิตตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำขานอ้อยที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำตาลมาทำการบดให้มีขนาดเล็กลง และผสมร่วมกับแกลบหรือไม้ที่มีขนาดไม่เกิน 150 มิลลิเมตร ในสัดส่วนขานอ้อยบดปริมาณร้อยละ 85 และแกลบ หรือไม้ ร้อยละ 15 (ภาพที่ 1.2 (ก))

ขั้นตอนที่ 2 นำส่วนผสมเข้าสู่อุปกรณ์เผา โดยทำการเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 1000-1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที วิธีเผาเป็นแบบกึ่งลอยตัว (ภาพที่ 1.2 (ข))

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อผ่านกระบวนการเผาเสร็จแล้วจะได้เถ้าหนัก (Bottom Ash) และ เถ้าเบา (Fly Ash) ร้อยละ 80 และ 20 ตามลำดับ โดยเถ้าเบานั้นจะต้องใช้ละอองน้ำช่วยในการจับอนุภาค แล้วตกลงสู่ด้านล่าง (ภาพที่ 1.2 (ค))

ขั้นตอนที่ 4 นำเถ้าขานอ้อยที่ได้ประมาณ 50-60 ตันต่อวัน ไปเก็บไว้ในบ่อเก็บกลางแจ้งรอการเคลื่อนย้าย (ภาพที่ 1.2 (ง))





ภาพที่ 1.2
ขั้นตอนการเตรียมเถ้าชานอ้อย

2. เป้าหมายการผลิต

เป้าหมายการผลิตคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักที่ผสมหินฝุ่นกับแฉะดินเบา หรือเถ้าชานอ้อย ต้องผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 58-2533 และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับคอนกรีตบล็อกที่ทำขายในท้องตลาดซึ่งใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมเพียงอย่างเดียว

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญดังนี้

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ ของแร่ดินเบาและเถ้าชานอ้อย
2. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล การนำความร้อน การดูดซับเสียง และความคงทน ของคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของแร่ดินเบา และที่มีผสมของเถ้าชานอ้อย แล้วนำผลที่ได้จากการทดสอบเปรียบเทียบกับข้อกำหนดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 58-2533 คอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักประเภทไม่ควบคุมความชื้น
3. เพื่อหาอัตราส่วนการแทนที่ของแร่ดินเบา และเถ้าชานอ้อยในหินปูนที่เหมาะสมเพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก

ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตการวิจัยได้กำหนดรายละเอียดดังนี้

1. แหล่งแร่ดินเบา จากอำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง ในขณะที่เถ้าชานอ้อยนำมาจากจากอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี
2. กำหนดปริมาณการแทนที่ของแร่ดินเบาและเถ้าชานอ้อยในหินปูน กำหนดที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก
3. กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) มีค่า 0.53-0.64 โดยน้ำหนัก โดยใช้เครื่องขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกชนิดไฮดรอลิค ของโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อก วี.อาร์ ตำบลสนับทึบ อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
4. คอนกรีตบล็อกที่นำมาทำการศึกษาคือคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักประเภทไม่ควบคุมความชื้น ที่มีขนาด 70 x 190 x 390 มิลลิเมตร
5. ศึกษาคุณสมบัติของหินปูน แร่ดินเบา และเถ้าชานอ้อย ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence และคุณสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย ลักษณะของอนุภาค ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ความละเอียดด้วยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 (45 ไมโครเมตร) และความถ่วงจำเพาะ
6. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกที่ผสมแร่ดินเบา และผสมเถ้าชานอ้อย ประกอบด้วย ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight)

ความพรุน (Porosity) การนำความร้อน (Thermal Conductivity) และการดูดซับเสียง (Sound Absorption)

7. ศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อกที่ผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าขาน้อย ได้แก่ กำลังอัดที่อายุ 3, 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ

8. ศึกษาคุณสมบัติความคงทนของคอนกรีตบล็อกที่ผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าขาน้อย ประกอบด้วย ค่าการหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) ความคงทนต่อการกัดกร่อนของ กรดไฮโดรคลอริก(HCl) กรดไนตริก(HNO_3) กรดอะซิติก(CH_3COOH) และกรดซัลฟุริก(H_2SO_4) ในรูปของค่าสูญเสียน้ำหนัก และความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้ง (Wetting and Drying)

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1. สามารถสรุปอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของปริมาณแร่ดินเบาและเถ้าขาน้อย ในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

2. เข้าใจศักยภาพของคุณสมบัติทางกลและความคงทน ของคอนกรีตบล็อกไม่รับ น้ำหนักที่ผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าขาน้อย แล้วทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.58-2533 เพื่อความปลอดภัยเมื่อนำไปใช้งานจริง

3. ใช้เป็นข้อมูล และแนวทางในการพัฒนาผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยใช้วัสดุ ชนิดอื่นต่อไปในอนาคต และการปรับอัตราส่วนผสมร้อยละของมวลรวม เพื่อการผลิต คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักด้วยเครื่องจักรประเภทอื่น

บทที่ 2

ผลงานวิจัย และงานเขียนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้จัดแยกตามวัสดุมวลรวมที่นำมาศึกษาคือ แร่ดินเบา และ
เก้าชานอ้อย รวมถึงวัสดุมวลรวมต่างๆที่เคยนำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแร่ดินเบา

Vasconcecelos, P.V. และ Labrincha, J.A. (2000) ศึกษาความสามารถการซึมผ่าน
ของแร่ดินเบาในตัวกรองเซรามิก โดยทำเป็นแผ่นบางๆ และใช้วิธีการไดเรคคอนโซลิเดเรต ทำให้
แผ่นแร่ดินเบาจัดวางเป็นชั้นๆ พบว่าความสามารถในการซึมผ่านของแผ่นแร่ดินเบาขึ้นอยู่กับ
ปริมาณแร่ดินเบา ขนาดโพรง และความพรุนของแร่ดินเบา

Ghouti, M.A.A. และ Kharisheh, M.A.M (2003) ศึกษาการดูดซับสารสีจากน้ำเสีย
ของโรงงานทอผ้าโดยใช้แร่ดินเบาพบว่า ความสามารถในการดูดซับสีแต่ละสีขึ้นอยู่กับค่า
ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเข้มข้นของสี และขนาดของอนุภาค

Majeda, A.M.K. และ Yahya, S.A. (2004) ได้นำแร่ดินเบา และแร่ดินเบาผสม
แมกกาไนต์ออกไซด์มาใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย จากการศึกษาพบว่า การใช้แร่ดินเบาผสม
แมกกาไนต์ สามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าแร่ดินเบา และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางด้าน
การกรองของแร่ดินเบาได้

Fragoulis, D. และ Stamalakis, M.G. (2004) ศึกษาแร่ดินเบาที่มีลักษณะละเอียด
เหมือนดินเหนียวในประเทศกรีซ โดยนำมาผสมกับซีเมนต์ร้อยละ 2 - 5 แล้วทำให้แห้งด้วยอุณหภูมิ
100 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จะมีลักษณะ
เป็นรูปทรงกลมขนาดของเม็ดอยู่ระหว่าง 0.002 ถึง 0.5 มิลลิเมตร ผลปรากฏว่าสามารถ
นำไปใช้เป็นวัสดุมวลรวมชนิดเบาได้ส่งผลให้สามารถนำไปใช้ทำเป็นคอนกรีตเบา ชิ้นส่วน
โครงสร้างสำเร็จรูปผิวบาง และวัสดุผสมปูนฉาบ เป็นต้น

Fragoulis, D. และ Stamatakis, M.G. (2005) ศึกษาในเรื่องการนำแร่ดินเบามาใช้ผลิตปูนซีเมนต์ผสมวัสดุปอซโซลานพบว่า อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงของปูนซีเมนต์ผสม มีค่ามากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เมื่อศึกษากำลัลดัดของปูนซีเมนต์ผสมแร่ดินเบาที่มีความละเอียดสูงกว่า 5,000 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม โดยค่ากำลัลดัดของปูนซีเมนต์ผสมแร่ดินเบาที่ได้มีค่ามากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

บุรฉัตร จัตรวีระ และคณะ (2005) ศึกษาคุณสมบัติของมอร์ตาร์ผสมแร่ดินเบา โดยคุณสมบัติที่ศึกษาได้แก่ คุณสมบัติทางกล และการหดตัวแบบแห้ง โดยกำหนดสัดส่วนการแทนที่ของแร่ดินเบาในฝุ่นหิน หรือทรายร้อยละ 0, 5, 8 และ 10 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วนการแทนที่ของแร่ดินเบาในฝุ่นหินปูน หรือทราย เพิ่มขึ้นทำให้ค่ากำลัลดัด กำลัลดัดกำลังดึง และกำลัลดัดเหนียว มีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามกำลัลดัดที่เกิดขึ้นในฝุ่นหินปูนมีค่ามากกว่าที่เกิดขึ้นในทราย เนื่องจากฝุ่นหินปูนมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน นอกจากนั้นเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ดินเบาเพิ่มขึ้นทำให้การหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ระยะเวลาการก่อตัวมีค่าลดลง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเถาขานอ้อย

Hernandez, J.F.M. และ Middendorf, B. (1998) ศึกษาคุณสมบัติความเป็นวัสดุปอซโซลาน ของเถาขานอ้อย และเถาฟางอ้อย ผลปรากฏว่าเถาขานอ้อยไม่มีคุณสมบัติปอซโซลาน ในขณะที่เถาฟางอ้อยเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติปอซโซลานที่ดี

Singh, N.B., Singh, V.D. และ Rai, S. (2000) ศึกษาปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมเถาขานอ้อย พบว่าซีเมนต์เฟสผสมเถาขานอ้อยมีระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปูนขาวอิสระ (Free lime) ลดน้อยลง นอกจากนั้นการแทนที่เถาขานอ้อยบดร้อยละ 10 มีผลทำให้กำลัลดัดมากขึ้นเล็กน้อย และเพิ่มความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรงได้

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ (2002) ได้ศึกษาการพัฒนากำลัลดัดของมอร์ตาร์ผสมเถาขานอ้อยพบว่า เถาขานอ้อยไม่บดมีขนาดอนุภาคใหญ่ส่งผลให้มีความสามารถในการทำ

ปฏิกิริยาปอชโซลานน้อย โดยการศึกษาแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม เพื่อศึกษาการพัฒนากำลังของมอร์ตาร์ทผสมเถ้าชานอ้อยคือ กลุ่มที่ 1 เถ้าชานอ้อยหยาบมีความละเอียด ค้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 54.5 กลุ่มที่ 2 เถ้าชานอ้อยที่มีความละเอียดปานกลาง โดยมีค่าความละเอียดค้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 16.84 และกลุ่มที่ 3 ผ่านการบดมีความละเอียด ค้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 6.07 แล้วใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก จากผลทดสอบพบว่าการใช้เถ้าชานอ้อยกลุ่มที่ 3 ใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ได้กำลังอัดสูงสุด และมากกว่ามอร์ตาร์ทมาตรฐานร้อยละ 126

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ (2002) ได้ทำการเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยกับคอนกรีตธรรมดา จากการศึกษากำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อย เปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา ผลการศึกษาพบว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง (w/b) เท่ากับ 0.6 ให้ค่ากำลังอัดที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตธรรมดา

อานนท์ เต็มสงสัย (2003) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าชานอ้อย มาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าชานอ้อยเทียบกับปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าชานอ้อยโดยมีค่าเท่ากับ 2.07 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์โดยมีค่าเท่ากับ 3.12 ซึ่งแสดงว่าปูนซีเมนต์ มีอัตราส่วน ช่องว่างภายในอนุภาคน้อยกว่าเถ้าชานอ้อย ผลการทดสอบค่าความชื้นเหลวปกติ ของซีเมนต์เพสต์เถ้าชานอ้อยพบว่าเมื่อปริมาณเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนผสมมากขึ้น ค่าความชื้นเหลวปกติจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ผลการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของ ซีเมนต์เพสต์ที่ใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าชานอ้อยในส่วนผสม ข้างต้นจะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวทั้งระยะต้น และระยะปลายของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้นตาม ปริมาณเถ้าชานอ้อยที่เพิ่มขึ้น ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ทที่แทนที่ปูนซีเมนต์ บางส่วนด้วยเถ้าชานอ้อยพบว่า มอร์ตาร์ทที่แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยในส่วนผสมร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ มีการพัฒนา กำลังรับแรงอัดได้ใกล้เคียง และมีแนวโน้มที่จะสามารถ พัฒนากำลังรับแรงอัดได้สูงกว่ากำลังรับแรงอัดที่มอร์ตาร์ทปกติรับได้ สำหรับมอร์ตาร์ทที่แทนที่ด้วย เถ้าชานอ้อยในส่วนผสมร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ โดยส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มของ การพัฒนากำลังรับแรงอัดได้ค่อนข้างต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดที่มอร์ตาร์ทปกติสามารถรับได้ แต่ มอร์ตาร์ทที่แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยในส่วนผสมร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์นั้นจะมีการ พัฒนากำลังรับแรงอัดได้ต่ำกว่ากำลังรับแรงอัดที่มอร์ตาร์ทปกติรับได้อย่างเห็นได้ชัด

ฐชัย สุจิวรกุล (2006) การวิจัยมีวัตถุประสงค์หลักคือเพื่อที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถาขานอ้อยมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จากการวิจัยเบื้องต้นพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำเถาขานอ้อยมาใช้ผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อลดต้นทุนในการก่อสร้างอาคารคอนกรีต การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถาขานอ้อยในปริมาณน้อยๆ เช่นร้อยละ 10 - 20 อาจทำให้มอร์ตาร์ หรือคอนกรีตมีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลที่ดีกว่า หรือเทียบเท่ามอร์ตาร์ หรือคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปกติ การเพิ่มปริมาณการแทนที่มากขึ้นส่งผลทำให้คุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลบางอย่างลดลง เช่น กำลังอัด และกำลังดึงของมอร์ตาร์ หรือคอนกรีตลดลง และการขยายตัวกับการหดตัวของมอร์ตาร์ หรือคอนกรีตเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ อย่างไรก็ตามการใช้เถาขานอ้อย ต้องระวังเป็นพิเศษในเรื่องการบ่มซึ่งต้องการการบ่มอย่างดีในระยะเวลาที่นานพอสมควรเพื่อให้ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

ณัฐพล เกตุโกมล, พรทิพย์ เสน่หา และ อรรถพล อินทรศร (2006) ได้ศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถาขานอ้อย โดยการนำเถาขานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 20 โดยนำน้ำหนักของวัสดุประสานเป็นตัวแปรหลักในการทดสอบ และแยกความละเอียดของเถาขานอ้อยออกเป็น 3 กลุ่ม ชนิด C-BA เป็นเถาขานอ้อยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 ชนิด M-BA เป็นเถาขานอ้อยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 และชนิด F-BA เป็นเถาขานอ้อยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถาขานอ้อยชนิด F-BA ที่อายุ 28 วัน มีกำลังอัดคิดเป็นร้อยละ 88 เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน ซึ่งผ่านเกณฑ์ ASTM C-618 ว่า มอร์ตาร์ผสมวัสดุปอชโซลาน Class N ต้องมีดัชนีกำลังอัดอย่างน้อยร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์มาตรฐาน การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถาขานอ้อยจะให้กำลังอัดสูงขึ้นเมื่อเถาขานอ้อยมีความละเอียดมากขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วัสดุมวลรวมต่างๆ เพื่อการผลิตคอนกรีตบล็อก

Paul, K. (1976) ได้ทำการศึกษาถึงการผสมปูนขาว (Lime) กับเถ้าแกลบ โดยศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนขาวกับเถ้าแกลบ โดยการเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับปูนขาว และเถ้าแกลบ คือ 1 ต่อ 2 นอกจากนี้เถ้าแกลบยังสามารถใช้ร่วมกับปูนขาว และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการทำคอนกรีตบล็อกได้ พบว่าทำให้

ต้นทุนการผลิตลดลงร้อยละ 13 ถึง 34 เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ทำจากปูนซีเมนต์กับทรายในปริมาณเท่ากัน

Lakho, P. (1980) ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่สำคัญของการผลิตเก้าแกลบที่มีประสิทธิภาพสูง โดยทำการศึกษาคูณสมบัติเชิงกลของเก้าแกลบในการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดการเผา เวลา ปริมาณอากาศ และการทำให้เก้าแกลบเย็นลง หลังการเผาสมบูรณ์ พบว่า วิธีการเผาแกลบแบบเปิด (Free Air Supply) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเผาประมาณ 4 ชั่วโมง ทำให้ค่ากำลังอัดดีกว่าการเผาที่อุณหภูมิต่ำอื่น เมื่อทำการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนขาว และเก้าแกลบอัตราส่วน 1 : 2 นอกจากนี้การนำเก้าแกลบมาประยุกต์ใช้ในการทำปูนซีเมนต์บล็อกโดยใช้อัตราส่วนระหว่างปูนขาว และเก้าแกลบ คือ 1 : 2 และการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ด้วยเก้าแกลบร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 70 โดยน้ำหนัก พบว่าเก้าแกลบสามารถแทนที่ในปูนซีเมนต์ได้ไม่เกินร้อยละ 30 และสามารถใช้อำนาจกับปูนขาว และปูนซีเมนต์ ร่วมกันในการผลิตซีเมนต์บล็อกได้

วีระ อำนวยพร (1999) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเก้าแกลบที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของอิฐ โดยกำหนดปริมาณเก้าแกลบแทนที่ดินในปริมาณไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และทำการทดสอบคุณสมบัติความคงทนของอิฐ ประกอบด้วยความสามารถต้านทานต่อซัลเฟต ความสามารถต้านทานคลอไรด์ และความคงทนต่อสภาพอากาศเปียกสลับแห้ง พบว่าอิฐที่มีเก้าแกลบเป็นส่วนผสมในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก สามารถทนต่อการทดสอบได้ดีโดยไม่มี การสึกกร่อน

ภัทรจิตรา รัตตชู, รณภพ ประพฤติเกษม และ วุฒิ นิยมทรัพย์ (2000) ได้ศึกษาการนำเอาขี้เถ้ามาใช้ในการผสมคอนกรีตบล็อก เพื่อให้ได้คอนกรีตบล็อกที่มีน้ำหนักเบา โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง หน่วยแรงอัด หน่วยแรงดึง หน่วยแรงดัด และความหนาแน่น กับปริมาณขี้เถ้าที่ใช้ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 เทียบกับทรายโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่อัตราส่วนผสม 1:2:4 ที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.6 จากการทดลองพบว่า ค่าหน่วยแรงอัด หน่วยแรงดึง หน่วยแรงดัด และความหนาแน่น มีค่าสูงสุดเมื่อมีปริมาณขี้เถ้า 5% และลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณขี้เถ้ามากขึ้น แต่ค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณขี้เถ้าที่ผสม สำหรับการเป็นฉนวนทนไฟของคอนกรีตบล็อกผสมขี้เถ้าจะพบว่า เมื่อเผาไฟ

ด้านหนึ่งที่อุณหภูมิ 2400 องศาเซลเซียส ในเวลา 120 นาที ความร้อนจะถูกส่งผ่านไปยัง ผงคอนกรีตบดอีกด้านหนึ่ง ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตบดเพิ่มขึ้น จากอุณหภูมิอากาศปกติ 51 องศาเซลเซียส และมีรอยแตกร้าวเล็กน้อยแต่ยังคงอยู่ในขอบเขตของมาตรฐานวัสดุทนไฟ

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2002) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เถ้าแกลบ-เปลือกไม้เป็นส่วนผสมเพื่อทำอิฐคอนกรีต โดยกำหนดอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุผง พบว่าเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ก่อนบดเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดีเนื่องจากอนุภาคมีขนาดใหญ่ รูพรุนสูง ดูดน้ำมาก ซึ่งหากนำไปแทนที่ในปูนซีเมนต์จึงไม่ควรเกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุผง และเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่บดละเอียดเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดี สามารถนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ได้สูงถึงร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุผง

สุวิมล สัจจาณิษฐ์ (2002) งานวิจัยนี้พบว่าเถ้าชานอ้อยทำปฏิกิริยากับน้ำ และปูนซีเมนต์ ผลที่ได้จะไม่ไวต่อปฏิกิริยา หากให้ดีขึ้นต้องทำให้ละเอียดมาก ๆ ด้วยการบดแห้ง เถ้าชานอ้อยขึ้น บดได้ไม่ดีต้องนำไปอบเพื่อลดความชื้นก่อน การอบควรอยู่ในอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้ง 2 วัน หลังบดมีการตรวจสอบความละเอียดดีแล้ว นำมาทำเป็นมอร์ตาร์ใส่ปูนซีเมนต์ และเถ้าชานอ้อยไปจำนวนหนึ่งในอัตราส่วนต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 10-20 จนกระทั่งถึง 40 เสร็จแล้วใส่ทรายลงไปในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 การทำมอร์ตาร์ไม่ได้ใส่หินเป็นส่วนผสม พอลองทำเป็นคอนกรีตใส่หินผสมจนได้ที่แล้วจึงเทเข้าแบบหล่อ เขย่า และปั่นผิวให้เรียบ กดให้แน่น แล้วถอดแบบภายในออกทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปบ่ม เสร็จแล้วนำบดลือกคอนกรีตที่ได้ไปทดสอบกำลัง พบว่าปริมาณของเถ้าชานอ้อยกับปูนซีเมนต์ต่างกันให้กำลังแตกต่างกัน อัตราส่วนผสม ใช้ปูนซีเมนต์ 175 กิโลกรัม กับเถ้าชานอ้อย 75 กิโลกรัม รวมได้ 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะได้กำลังรับแรงอัดประลัยที่ 28 วัน ประมาณ 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือใช้ซีเมนต์ 190 กิโลกรัม เถ้าชานอ้อย 80 กิโลกรัม รวมได้ 270 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะได้กำลังรับแรงอัดประลัยที่ 28 วัน ประมาณ 160 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตบดลือกผสมเถ้าชานอ้อยที่ทำการบดแล้วมีกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตคุณภาพดี แต่มีน้ำหนักเบากว่า เนื้อแน่นกว่า การนำไปใช้งานไม่ยุ่งยาก และมีความทนทานใกล้เคียงกัน

นรพงศ์ ศรีสวัสดิ์, พุฒิพล ฮวบศรีพันธุ์ และ รัตนภูมิ มั่งคั่ง (2004) งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการนำซังข้าวโพดเผามาผสมเพื่อทำคอนกรีตบล็อกมวลเบา เพื่อให้ได้คอนกรีตบล็อกมวลเบา โดยนำซังข้าวโพดเผาร้อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 นำไปแทนที่หินฝุ่นอัตราส่วนร้อยละ 10 , 15 , 20 , 25 และ 30 โดยน้ำหนัก กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 0.679, 0.779 และ 0.879 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม และทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกขนาด 7 X 19 X 39 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตบล็อกที่แทนที่ด้วยซังข้าวโพดเผาร้อยละ 25 และ 30 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยอัตราส่วนร้อยละ 25 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.879 ให้กำลังดีที่สุดคือ 4.475×10^6 นิวตันต่อตารางเมตร ได้ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.60 อัตราการดูดซึมน้ำเท่ากับ 14.87 เปอร์เซ็นต์ และหนัก 5,256 กรัม โดยค่าที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2530)

บัณฑิต รักษาดี (2005) ได้ศึกษาการนำเถ้าแกลบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง และเถ้าแกลบจากโรงสีข้าวมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุเติมในการผลิตคอนกรีตบล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนัก (Hollow Non-Load-Bearing Concrete Block) จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อร้อยละการแทนที่ของเถ้าแกลบไม่บดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้หน่วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกกลดลงร้อยละ 8 ถึง 15 เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน ในขณะที่ความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 2 เท่าของคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบไม่บดในทุกอัตราส่วนของ การแทนที่ร้อยละ 85 - 86 ของกำลังอัดคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน ซึ่งผลการทดสอบสามารถนำเถ้าแกลบมาใช้แทนที่ในมวลรวม (หินฝุ่น) ได้ในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 58-2530) ประเภทไม่ควบคุมความชื้น

ภรพนา บุญมา และคณะ (2005) ได้ศึกษาสมบัติบางประการของคอนกรีตบล็อกแบบกลวงที่ผสมเส้นใยกากปาล์มน้ำมัน และผสมเส้นใยขาน้อยในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 โดยปริมาตร ค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนร้อยละการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมมีค่าเพิ่มมากขึ้นทั้งสองกรณี และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของทั้งสองกรณีคือร้อยละ 15 โดยปริมาตร กรณีที่ผสมเส้นใยกากปาล์มน้ำมัน มีค่าสภาพนำความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่ากำลังอัด และค่าร้อยละ

การดูดซึมน้ำ เท่ากับ 1.9411 W/mK , $1.78 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $1.24 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, 9.42 ตามลำดับ ส่วน
กรณีผสมเส้นใยชานอ้อยมีค่าสภาพการนำความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่ากำลังอัด และค่า
ร้อยละการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 1.9375 W/mK , $1.91 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $1.51 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, 8.52 ตามลำดับ

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ข้อมูลพื้นฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 และข้อมูลพื้นฐานของปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1-2547 ประกอบกับข้อมูล ทางเคมี และทางกายภาพของมวลรวม ซึ่งมีผลกับการทดสอบหาคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ ทางกล และความคงทนของคอนกรีตบล็อก

รายละเอียดทั่วไปของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

1. นิยามของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับ น้ำหนักนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

คอนกรีตบล็อก (Hollow concrete block or hollow concrete masonry unit) หมายถึงก้อนคอนกรีตทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่างๆ และมี สารอื่นผสมด้วยหรือไม่ก็ได้ สำหรับก่อผนังหรือกำแพง มีรูหรือโพรงขนาดใหญ่ทะลุตลอด และมี พื้นที่หน้าตัดสุทธิที่ระนาบขนานกับผิวที่รับน้ำหนักน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ ระนาบเดียวกัน

คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (Hollow non-load-bearing concrete masonry unit) หมายถึง คอนกรีตบล็อกใช้สำหรับผนังที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใด ๆ นอกจากน้ำหนัก ตัวเอง

2. ประเภทคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภท ควบคุมความชื้น และประเภทไม่ควบคุมความชื้น

3. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักให้มีขนาดดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

เปลือก (Face-shell) หมายถึง ผนังด้านนอกของคอนกรีตบล็อกซึ่งเชื่อมต่อกับผนังกันโพรง

ตารางที่ 3.1

ขนาดมาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

ขนาดที่ทำ หนา x สูง x ยาว มิลลิเมตร x มิลลิเมตร x มิลลิเมตร	ขนาดที่ทำ หนา x สูง x ยาว มิลลิเมตร x มิลลิเมตร x มิลลิเมตร
70x190x140	70x190x290
90x190x140	90x190x290
140x190x140	140x190x290
190x190x140	190x190x290
70x190x190	70x190x390
90x190x190	90x190x390
140x190x190	140x190x390
190x190x190	190x190x390

(ที่มา : มอก. 58-2530, หน้า 9)

4. วัสดุ

ได้จัดแยกวัสดุที่ใช้ออกเป็นส่วนๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 1-2547 ปูนซีเมนต์ผสมควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ผสมมาตรฐานเลขที่ มอก. 15-2517

4.2 มวลผสมคอนกรีตควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มวลผสมคอนกรีตมาตรฐานเลขที่ มอก. 566-2528 ยกเว้นเกณฑ์การกำหนดการคัดขนาดมวลผสมคอนกรีต

4.3 ส่วนผสมอื่น ๆ ตัวทำฟองอากาศ สี สารกันน้ำ ฯลฯ ที่นำมาใช้ควรเป็นสารที่เหมาะสมสำหรับใช้กับคอนกรีต และควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

5. คุณลักษณะที่ต้องการ

5.1 ลักษณะทั่วไป

1. คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทุกก้อน ต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าวหรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอย่างถูกต้อง หรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลังหรือความคงทนถาวร รอยร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติ หรือรอยปริเล็กน้อยเนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดา จะต้องไม่เป็นสาเหตุอ้างในการไม่ยอมรับ

2. คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการฉาบปูน หรือแต่งปูนต้องมีผิวหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้อย่างดี

3. คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการก่อแบบผิวเผย ด้านผิวเผยจะต้องไม่มีรอยบิ่น รอยร้าว หรือตำหนิอื่นๆ ถ้าในการสังเคราะห์หนึ่งมีก้อนซึ่งมีรอยบิ่นเล็กน้อยที่ยาวมากกว่า 25 มิลลิเมตร เป็นจำนวนไม่มากกว่าร้อยละ 5 จะต้องไม่ถือเป็นสาเหตุในการไม่ยอมรับ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

5.2 ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าแต่ละก้อนต้องเป็นไปตามตารางที่ 3.2 การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีชักตัวอย่าง และการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีตมาตรฐานเลขที่ มอก. 109-2517

ตารางที่ 3.2

ข้อกำหนดด้านความต้านแรงอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์
อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

กำลังรับแรงอัดต่ำสุด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) (เฉลี่ยจากพื้นที่รวม)	
ค่าเฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	ค่าจากคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน
25	20

ที่มา : มอก. 58-2533, ข้อ 7

5.3 ปริมาณความชื้น

เฉพาะคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้น ค่าที่ได้ต้องเป็นไปตาม
ตาราง ที่ 3.3

ตารางที่ 3.3

ข้อกำหนดความชื้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก
ประเภทควบคุมความชื้น

การหดตัวทางยาวแบบแห้ง (ร้อยละ)	ความชื้นสูงสุด ร้อยละของการดูดกลืนน้ำทั้งหมด (ค่าเฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน)		
	ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย (ร้อยละ)		
	น้อยกว่า 50	50 ถึง 70	มากกว่า 70
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.03	35	40	45
มากกว่า 0.03 ถึง 0.045	30	35	40
มากกว่า 0.045	25	30	35

ที่มา : มอก. 58-2533

หมายเหตุ : ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย อาศัยสถิติตามประกาศของกรม
อุตุนิยมวิทยาสำหรับสถานที่ใกล้แหล่งผลิตมากที่สุด

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์จะมีขั้นตอนต่างๆ ประกอบด้วย การบดวัตถุดิบต่างๆ ให้ละเอียด แล้วนำมาผสมกันในอัตราส่วนที่พอเหมาะ หลังจากนั้นป้อนเข้าเตาเผา วัตถุดิบเมื่อถูกความร้อนที่สูงพอดีจะหลอมตัวเป็นปูนเม็ด (Clinker) ปูนเม็ดจะถูกลดอุณหภูมิ และนำไปบดละเอียดรวมกับ ยิปซัม (Gypsum) ผลที่ได้คือ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ได้ดังต่อไปนี้

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีการผลิตมากที่สุดเหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และใช้ในงานการก่อสร้างปกติทั่วไป ซึ่งการผลิตคอนกรีตบล็อกใช้ปูนประเภทนี้

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่เกิดความร้อนน้อยกว่าประเภทที่ 1 ขณะทำปฏิกิริยากับน้ำและทนซัลเฟตได้ปานกลางเหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อน และทนซัลเฟตได้ปานกลาง ในปัจจุบันปูนซีเมนต์ประเภทนี้ไม่มีการใช้ภายในประเทศ

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดเร็ว (High Early Strength Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ค่าความต้านแรงอัดสูงได้เร็วในระยะแรก เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานเร็ว หรือถอดแบบเร็วเช่น เสาเข็มคอนกรีต เสาไฟฟ้าคอนกรีต เป็นต้น

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่เกิดความร้อนน้อยกว่าประเภทที่ 2 เนื่องจากการให้อุณหภูมิของคอนกรีตขณะก่อตัวต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นๆ เหมาะสำหรับงานก่อสร้างที่มีความเสี่ยงจากการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน และงานคอนกรีตมวล (Mass Concrete)

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (Sulphate Resistance Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ต้านทานซัลเฟตได้สูงเหมาะสำหรับโครงสร้างงานคอนกรีตที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตอย่างรุนแรง เช่น บริเวณน้ำทะเล หรือดินที่มีสารซัลเฟตสูง เป็นต้น

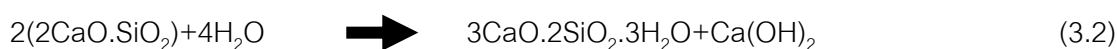
ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ

ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้เกิดการก่อตัว และแข็งตัวเป็นสารเชื่อมประสานระหว่างมวลรวมซึ่งประกอบด้วยหินปูนกับแร่ดินเบา หรือเถ้า ชานอ้อย ซึ่งมีความสำคัญต่อการพัฒนาด้านกำลัง และการเชื่อมประสาน ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ สารประกอบหลักสามารถเขียนเป็นสมการทางเคมี ดังนี้

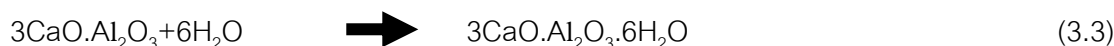
ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)



ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)



ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A)



ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตราแคลเซียมอะลูมินอฟอสเฟต (C_4AF)



องค์ประกอบของมวลรวม

การผลิตคอนกรีตบล็อก ส่วนใหญ่แล้วมีอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์กับหินปูน ประมาณ 1 : 5 โดยน้ำหนัก ดังนั้นคุณสมบัติของหินปูนจึงมีผลต่อคุณภาพของคอนกรีตบล็อก เป็นอย่างมาก ซึ่งการนำแร่ดินเบา และเถ้าชานอ้อย มาใช้แทนที่ในหินปูนเพื่อผลิตคอนกรีตบล็อก จึงต้องตระหนักถึงองค์ประกอบโดยรวมของมวลรวม ดังต่อไปนี้

1. รูปร่าง และลักษณะผิว มีส่วนสำคัญต่อความสามารถในการทำงาน (Workability) และมีผลต่อกำลังรับแรงของคอนกรีตบล็อก

2. ความแข็งแรง มีส่วนสำคัญต่ออายุการใช้งาน และความคงทน ซึ่งสามารถดูได้จากกำลังและความแข็งแรงของหินต้นกำเนิดดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4

กำลังอัด และโมดูลัสความยืดหยุ่นของหินบางประเภท

ชนิดของหิน	กำลังอัด (เมกะปาสคาล)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (เมกะปาสคาล)
หินอ่อน (Marble)	117	55,000
หินทราย (Sandstone)	131	10,000
แกรนิต (Granite)	181	56,000
หินปูน (Limestone)	241	53,000
ควอตไซต์ (Quartzite)	252	78,000
เฟลไซต์ (Felsite)	324	-

(ที่มา : ปริญา จินดาประเสริฐ, 2533)

3. ขนาดคละของมวลรวมมีส่วนสำคัญต่อผลการรับแรงของโครงสร้าง ความสามารถทำงานได้โดยไม่แยกตัว ลดช่องว่าง และต้นทุนการผลิต เพราะมวลรวมเข้าไปแทนที่ปูนซีเมนต์ ขนาดคละที่ดีควรมีสัดส่วนตามมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5

ขนาดคละมาตรฐานของมวลรวมละเอียด

ขนาดตะแกรงร่อน	ส่วนที่ผ่านตะแกรงร้อยละโดยน้ำหนัก			
	เขตการแบ่งขนาด			
	I	II	III	IV
9.5 มิลลิเมตร	100	100	100	100
4.75 มิลลิเมตร	90 ถึง 100	90 ถึง 100	90 ถึง 100	95 ถึง 100
2.36 มิลลิเมตร	60 ถึง 95	75 ถึง 100	85 ถึง 100	95 ถึง 100
1.18 มิลลิเมตร	30 ถึง 70	55 ถึง 90	75 ถึง 100	90 ถึง 100
600 ไมโครเมตร	15 ถึง 34	35 ถึง 59	60 ถึง 79	80 ถึง 100
300 ไมโครเมตร	5 ถึง 20	8 ถึง 30	12 ถึง 40	15 ถึง 50
150 ไมโครเมตร	0 ถึง 10	0 ถึง 10	0 ถึง 10	0 ถึง 15

(ที่มา : มอก. 566-2528, หน้า 5)

หมายเหตุ : ถ้าเป็นหินฝุ่น ให้เพิ่มขีดจำกัดสำหรับตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร เป็นร้อยละ 20

ความพรุนตัว

ในตัวเนื้อวัสดุต่างๆโดยธรรมชาติจะมีช่องว่างรวมอยู่ด้วยเสมอซึ่งจะมีขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ จำนวนน้อย และ จำนวนมาก แตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุ ช่องว่างนี้มีความสำคัญที่จะส่งผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่นำวัสดุนั้นมาใช้ผลิต เช่น ถ้าวัสดุมีความพรุนตัวมากจะทำให้น้ำหนักเบา การนำความร้อนเข้า เป็นต้น

การทดสอบหาค่าความพรุนตัว ตามมาตรฐานมีอยู่หลายวิธี เช่น มาตรฐาน ASTM C 20 ซึ่งทดสอบโดยการอบด้วยความร้อนแล้วแช่น้ำ อีกวิธีหนึ่งคือ มาตรฐาน ASTM D 4284 (MIP) ซึ่งทดสอบโดยการแทนที่ช่องว่างด้วยปรอท ในการวิจัยจะใช้วิธีนี้ทำการทดสอบคอนกรีต บล็อก

การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 4284 โดยวิธี Mercury Intrusion Porosimetry (MIP) เป็นการวัดขนาดของช่องว่างในเนื้อวัสดุที่มีขนาดตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตร ถึง 3.5 นาโนเมตร

ขนาดของช่องว่างคำนวณได้จากการสมดุลระหว่างแรงอัดจากความดันของปรอทในขณะที่ปรอทแทรกเข้าไปในช่องว่าง กับแรงต้านที่เกิดจากแรงตึงผิวที่เกิดจากปรอทกับวัตถุทดสอบ ซึ่งสมมุติฐานในการทดสอบ มีดังนี้

1. ปรอทจะเข้าไปแทรกในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ก่อนช่องว่างที่มีขนาดเล็ก
2. การวัดขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องมือ คือ เครื่องมือที่สามารถอัดแรงดันได้มากจะสามารถหาขนาดช่องว่างที่เล็กลงได้อีก
3. เนื้อวัตถุไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการทดสอบ
4. ไม่มีของเหลวอื่นในตัวอย่งที่ทำการทดสอบ

คุณสมบัติการนำความร้อน

การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นไปตามกฎของฟูเรียร์ (Fourier's Law of Conduction) ดังสมการที่ 3.5

$$H = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3.5)$$

เมื่อ H คือ ความร้อนที่ไหลผ่านในหนึ่งวินาที (W)

A คือ พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (m^2)

dT คือ อุณหภูมิที่แตกต่าง (K)

dx คือ ความหนาของคอนกรีตบล็อก (m)

k คือ สภาพการนำความร้อน (W/mK)

คุณสมบัติการดูดซับเสียง

การดูดซับเสียงเป็นการวัดค่าการดูดซับเสียงในห้องที่มีการสะท้อนกลับของเสียงซึ่งจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากไปกระทบกับวัตถุที่ทำการทดสอบ แผ่นทดสอบที่ทำจากวัสดุที่แตกต่างกันจะมีผลตอบสนองกับความถี่ของคลื่นเสียงแต่ละระดับที่ต่างกัน อันเนื่องมาจากตัวเนื้อวัสดุ และความพรุนของผิวหน้าวัสดุ การทดสอบที่นำมาใช้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 423 (Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method) ความถี่ของคลื่นเสียงที่ทำการทดสอบเริ่มตั้งแต่ 125 เฮิรต ถึง

4,000 เฮอร์ต แล้วนำค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของความถี่คลื่นเสียงที่ 250, 500, 1000, และ 2,000 เฮอร์ต มาหาค่าเฉลี่ย เรียกว่า ค่า NRC (Noise Reduction Coefficient) ซึ่งค่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าโดยรวมแล้ววัสดุที่นำมาทดสอบจะดูดซับเสียงได้มากหรือน้อย

คุณสมบัติทางด้านความทนทาน

1. การหดตัว

การหดตัวของคอนกรีตมีหลายประเภทเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน และสาเหตุของการเกิดก็แตกต่างกันไป การหดตัวเป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดของปริมาตรของคอนกรีตในรูปของการสูญเสียน้ำ หรือระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเคมีของคอนกรีต การเปลี่ยนแปลงปริมาตรนำไปสู่การแตกร้าวขึ้นในคอนกรีตในขณะที่อยู่ในสภาวะถูกยึดรั้ง ชนิดของการหดตัวของคอนกรีตมี 3 ชนิดที่สำคัญคือ การหดตัวแบบแห้ง การหดตัวแบบพลาสติก และการหดตัวแบบออโตจีเนียส ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจะพิจารณาเฉพาะการหดตัวแบบแห้งเท่านั้น

การหดตัวแบบแห้งจะเกิดขึ้นในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว และอยู่ในสภาวะอากาศที่มีความชื้นต่ำ ทำให้คอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศสูญเสียความชื้นภายในช่องว่างคาпилลารี (Capillary Pore) และเกิดการหดตัวแตกร้าว โดยที่การหดตัวที่เกิดขึ้นนั้น ส่วนใหญ่แล้วจะไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ แม้ว่าจะทำให้คอนกรีตเปื่อยขึ้นขึ้นมาใหม่ การหดตัวของคอนกรีตโดยทั่วไปเกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์

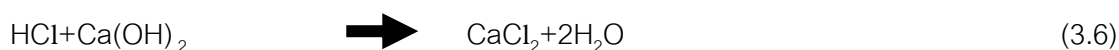
กลไกของการเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบแห้งจะเกิดขึ้นในคอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศมีความชื้นต่ำกว่าความชื้นในช่องว่างคาпилลารีมาก เนื่องจากการสูญเสียน้ำอิสระ (Free Water) โดยการระเหยไปกับอากาศทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในช่องว่างคาпилลารีสูงขึ้น นอกจากนี้การสูญเสียน้ำไป ทำให้ปริมาตรของคอนกรีตลดลงจึงทำให้คอนกรีตอยู่ในสภาวะถูกยึดรั้ง หากหน่วยแรงที่ยึดรั้งมีค่าสูงกว่ากำลังแรงดึงของคอนกรีต จะเกิดรอยแตกร้าวขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวแบบแห้งคือ การสูญเสียน้ำออกจากคอนกรีตไปสู่บรรยากาศแวดล้อม ดังนั้นหากป้องกันการสูญเสียความชื้นออกจากคอนกรีตจะทำให้ลดปัญหาการแตกร้าวของคอนกรีตลงได้เช่น การออกแบบอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำและการบ่มคอนกรีตให้ถูกวิธี เป็นต้น

2. การกัดกร่อนโดยกรด

โดยธรรมชาติของคอนกรีตจะมีความสามารถทนต่อสภาพการถูกกระทำให้สึกกร่อนจากสารเคมีได้หลากหลายชนิด แต่ก็มีสารเคมีบางประเภททำความเสียหายให้กับคอนกรีตได้เช่นกัน โดยเฉพาะเกลือซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่อยู่ในรูปของสารละลายมีความสามารถทำอันตรายต่อซีเมนต์เฟสในคอนกรีตซึ่งจะเกิดขึ้นบริเวณที่คอนกรีตอยู่ในน้ำทะเล น้ำกร่อย ในดินบริเวณริมทะเล หรือดินทั่วไปที่มีส่วนผสมของเกลือ นอกจากนี้ยังมีกรดบางชนิดที่เป็นอันตรายต่อความคงทนของคอนกรีต แต่อาจไม่พบบ่อยนัก แต่มีลักษณะการสึกกร่อนที่รุนแรงในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด โดยแหล่งที่ทำให้เกิดกรดมาจากโรงงานอุตสาหกรรม จากระบบบำบัดน้ำเสีย และท่อระบายเสียจากบ้านเรือน หรือจากฝนกรด กรดประเภทนี้ได้แก่ กรดซัลฟูริก ยังมีกรดบางประเภทที่เป็นอันตรายต่อความคงทนของคอนกรีตที่พบบ่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแก้ว เช่น กรดไฮโดรคลอริก นอกจากนี้กรดไนตริกที่เกิดจากการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ไปรวมตัวกับก๊าซโอโซน (O_3) ในชั้นบรรยากาศ และกรดน้ำส้ม (อะซิติก) จากการหมักดองของผลไม้และผัก ยังเป็นตัวอย่างหนึ่งที่ทำให้ความคงทนของคอนกรีตลดลงด้วยเช่นกัน

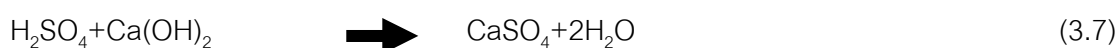
กลไกของการกัดกร่อนโดยกรดเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบแคลเซียมทุกประเภทที่มีอยู่ในคอนกรีตให้กลายเป็นเกลือแคลเซียมของกรดที่เข้าไปทำปฏิกิริยาบริเวณที่คอนกรีตถูกเปลี่ยนเป็นเกลือจะสูญเสียความสามารถในการยึดเกาะระหว่างกันทำให้เนื้อคอนกรีตถูกทำลายหายไป เป็นผลให้มวลรวมหลุดออกจากคอนกรีตได้ง่าย ปฏิกิริยาของสารประกอบเกลือแคลเซียมที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตสามารถเขียนเป็นสมการเคมีดังนี้

กรดไฮโดรคลอริก (HCl)

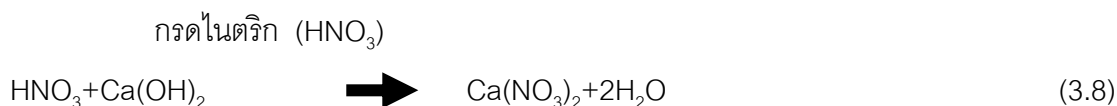


ความสามารถในการละลายของแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เท่ากับ 73.9 กรัม ในน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)



ความสามารถในการละลายของแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) เท่ากับ 0.256 กรัม ในน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



ความสามารถในการละลายของแคลเซียมไนเตรต ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) เท่ากับ 127.0 กรัม ในน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



ความสามารถในการละลายของแคลเซียมอะซิเตรต ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) เท่ากับ 52.0 กรัม ในน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

3. ความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้ง

คอนกรีตที่ดีต้องมีความคงทนถาวรต่อทุกสภาพอากาศ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและน้ำหนัก ในบางสภาวะของอากาศมีอิทธิพลต่อความคงทนของคอนกรีต ในกรณีสภาพอากาศเปียกสลับแห้ง ทำให้คอนกรีตเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของน้ำ และเปลี่ยนแปลงขนาดกลไกของความคงทนต่อสภาพอากาศเปียกสลับแห้งคือ การบวม (Swelling) และการหดตัว (Shrinkage) ซึ่งการหดตัวได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 1. สำหรับการบวมของซีเมนต์เพสต์หรือคอนกรีตที่ถูกบ่มอย่างต่อเนื่องในน้ำ ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาตรและน้ำหนัก เนื่องมาจากการดูดซับน้ำโดยซีเมนต์เจล โมเลกุลของน้ำจะต่อต้านแรงยึดเหนี่ยว และทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเจลแยกออกจากกันด้วยแรงดันน้ำ นอกจากนี้การที่น้ำเข้าไปจะทำให้ลดแรงดึงหน้าผิวสัมผัสของเจลลดลง ดังนั้นหากคอนกรีตบ่มอยู่ในสภาวะเปียกสลับแห้งจะส่งผลต่อความคงทนของคอนกรีตบ่มลดลง

บทที่ 4

วิธีการวิจัย

ทั่วไป

ระเบียบวิธีการวิจัยเริ่มจากการนำวัสดุที่จะใช้ทำการศึกษาคือ แร่ดินเบา และ แก้วชานอ้อยมาทดสอบองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ ต่อไปจึงทำการออกแบบ ส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก แล้วทำตัวอย่าง บ่มในน้ำจนได้เวลาที่ต้องการ สุดท้ายนำตัวอย่าง คอนกรีตบล็อกไปทดสอบคุณสมบัติทั้งทางกลและความคงทน แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 58-2533

วัสดุที่จะใช้ทำการวิจัย

1. แร่ดินเบานำมาจากห้างหุ้นส่วนจำกัดลำปางภูมิวัฒนา อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง จากการสังเกตด้วยสายตา อนุภาคมีลักษณะสีน้ำตาลอ่อนและเนื้อละเอียดมาก
2. แก้วชานอ้อยนำมาจากบริษัท ด่านช้างไบโอ-เอ็นเนอร์ยี จำกัด ซึ่งเป็นโรงผลิตไฟฟ้า จากชานอ้อย ตั้งอยู่ที่ 109 หมู่ 10 ตำบลหนองมะค่าโมง อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี จากการสังเกตด้วยสายตา อนุภาคมีลักษณะสีดำและผิวเรียบมัน
3. หินปูนนำมาจากโรงโม่หิน ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัด สระบุรี จากการสังเกตด้วยตา อนุภาคมีลักษณะสีเทาและมีขนาดละเอียด
4. ปูนซีเมนต์ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
5. น้ำ ใช้น้ำประปา

รายละเอียดวิธีการทดสอบ

1. การทดสอบองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ ของแร่ดินเบา และ เถ้าขาน้อย

การศึกษาคุณสมบัติของแร่ดินเบาและเถ้าขาน้อย ทำการทดสอบวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ มีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

1.1 การทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางกายภาพของแร่ดินเบาและเถ้าขาน้อย ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer

1.2 การทดสอบหาขนาดรูปร่างของอนุภาคด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

1.3 การทดสอบความละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C 117

2. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุมวลรวม

การทดสอบองค์ประกอบทางกายภาพของหินฝุ่น แร่ดินเบา และเถ้าขาน้อย ประกอบด้วย การหาค่าความถ่วงจำเพาะและขนาดผละของวัสดุมีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

2.1 ความถ่วงจำเพาะของหินฝุ่น แร่ดินเบา และเถ้าขาน้อย ตามมาตรฐาน ASTM C 128

2.2 สัดส่วนผละของหินฝุ่น แร่ดินเบา และเถ้าขาน้อย เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 566-2528

3. การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก

การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่ผสมหินฝุ่น แร่ดินเบา และเถ้าขาน้อย เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน การทำคอนกรีตบล็อกจะใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.53-0.64 ตามความสามารถที่อัดขึ้นรูปได้ของเครื่องจักร และปริมาณแร่ดินเบา หรือเถ้าขาน้อยแทนที่มวลรวม (หินฝุ่น) ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก มีรายละเอียดการทดสอบซึ่งแยกออกตามคุณสมบัติ ดังนี้

3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อก

3.1.1 ทดสอบหน่วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 จำนวน 5 ก้อน

3.1.2 ทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 จำนวน 5 ก้อน

3.1.3 ทดสอบความพรุนตามมาตรฐาน ASTM D 4284 โดยวิธี Mercury Intrusion Porosimetry (MIP) ตัวอย่างใช้คอนกรีตบล็อกจำนวน 1 ก้อน ตัดให้ได้ขนาดประมาณ เส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ยาว 27 มิลลิเมตร แล้วอบให้แห้งเพื่อขจัดความชื้นออกให้หมด นำตัวอย่างขึ้นทดสอบใส่ในช่องใส่ตัวอย่างที่เป็นหลอดแก้ว เริ่มทดสอบโดยทำภายในหลอดแก้วให้เป็นสุญญากาศแล้วอัดปรอทเข้าไปในหลอดแก้ว เพิ่มแรงดันจนปรอทสามารถแทรกเข้าไปในช่องว่างภายในขึ้นตัวอย่าง บันทึกความดัน และปริมาตรของปรอทที่หายไปด้วยเครื่อง Mercury Intrusion Porosimeter แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาขนาดรูพรุน และร้อยละของความพรุนตัว

3.2 การทดสอบคุณสมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก

3.2.1 ทดสอบการนำความร้อนตามมาตรฐาน JIS R 2618 โดยใช้คอนกรีตบล็อกจำนวน 1 ก้อน นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 1 กรัมต่อระยะเวลาอบ 24 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบหาค่าสภาพการนำความร้อน โดยการนำแผ่นกระจายความร้อนวางบนผิวแผ่นคอนกรีตบล็อกที่เตรียมไว้แล้วเพิ่มความร้อน 3 ถึง 10 องศาเซลเซียส ภายใน 30 วินาที ถึง 5 นาที หลังจากนั้นนำสายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) มาวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงที่ผิวล่างของคอนกรีตบล็อก บันทึกข้อมูลรวมทั้งวัดความหนา และพื้นที่หน้าตัดที่ได้รับความร้อน จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าสภาพการนำความร้อน

3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อก

3.3.1 ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3, 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ ตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 จำนวน 5 ก้อน

3.4 การทดสอบคุณสมบัติการดูดซับเสียงของคอนกรีตบล็อก

3.4.1 ทดสอบการดูดซับเสียงตามมาตรฐาน ASTM C 423 โดยใช้คอนกรีตบล็อกจำนวน 20 ก้อน ตัดแบ่งครึ่งทางยาวแล้วก่อเป็นแผ่นวางบนพื้น ได้ขนาด กว้าง 1770 มิลลิเมตร ยาว 2000 มิลลิเมตร หนา 50 มิลลิเมตร ทดสอบในห้องขนาด กว้าง 3690 มิลลิเมตร ยาว 4120 มิลลิเมตร สูง 3280 มิลลิเมตร เริ่มการทดสอบที่ห้องเปล่าก่อนแล้วนำแผ่นตัวอย่างทดสอบมาวางบนผิวพื้นในห้องทดสอบ ทำการทดสอบที่ความถี่ของคลื่นเสียง 125, 160, 200,

250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, และ 4000 เฮิร์ต แล้ว บันทึกผลค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับเสียงมาเปรียบเทียบวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.5 การทดสอบคุณสมบัติความคงทนของคอนกรีตบล็อก

3.5.1 ทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตบล็อกอายุ 28 วันตามมาตรฐาน มอก. 110-2517 ซึ่งวัดค่าการเปลี่ยนแปลงมิติทางยาวของก้อนตัวอย่าง จากการทำให้แห้งจากสภาวะอิ่มน้ำ ถึงสภาวะสมดุลย์ของน้ำหนักและความยาว ภายใต้สภาวะการเร่งให้แห้งตามกำหนด จำนวน 5 ก้อน

3.5.2 ทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อกอายุ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM D 559 จำนวน 3 ก้อน

3.5.3 ทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกต่อสภาวะการกัดกร่อนของกรดซึ่งมีอายุ 28 วัน โดยทำการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดอะซิติก (CH_3COOH) ความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 1.0 เป็นระยะเวลา 3, 7, 28, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.5.3.1 ทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 1.0 ในรูปของการสูญเสียน้ำหนัก (Weight Loss) ของก้อนคอนกรีตบล็อกถูกแช่เป็นระยะเวลา 3, 7, 28, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ จำนวน 3 ก้อน

3.5.3.2 ทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดไนตริก (HNO_3) ความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 1.0 ในรูปของการสูญเสียน้ำหนัก (Weight Loss) ของก้อนคอนกรีตบล็อกถูกแช่เป็นระยะเวลา 3, 7, 28, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ จำนวน 3 ก้อน

3.5.3.3 ทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 1.0 ในรูปของการสูญเสียน้ำหนัก (Weight Loss) ของก้อนคอนกรีตบล็อกถูกแช่เป็นระยะเวลา 3, 7, 28, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ จำนวน 3 ก้อน

3.5.3.4 ทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดอะซิติก (CH_3COOH) ความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 1.0 ในรูปของการสูญเสียน้ำหนัก (Weight Loss) ของก้อนคอนกรีตบล็อกถูกแช่เป็นระยะเวลา 3, 7, 28, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ จำนวน 3 ก้อน

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือเครื่องใช้ในงานวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ เครื่องมือที่ใช้ในการทำตัวอย่างทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทำตัวอย่างทดสอบ

1.1 เครื่องขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก ใช้ของโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อก วี.อาร์ ตำบลสนับทึบ อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1
เครื่องขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก

1.2 เครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐาน ขนาด 100 กิโลกรัม

2. เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบ

2.1 เครื่องมือทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ของแร่ดินเบา และเถ้าขาน้อย ได้แก่ เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และเครื่องทดสอบหาค่าความละเอียด

2.2 เครื่องมือทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวม ได้แก่ เครื่องมือทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ และเครื่องมือทดสอบหาขนาดคละ ประกอบด้วย เครื่องชั่งน้ำหนัก ตะแกรงร่อน ไฮโดรมิเตอร์ และเครื่องกวนดิน

2.3 เครื่องมือทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ของคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง ได้แก่ เครื่องมือทดสอบหน่วยน้ำหนัก ทดสอบกำลังอัด ทดสอบการดูดซึมน้ำ ทดสอบการหดตัวแบบแห้ง ความพรุน การนำความร้อน และการดูดซับเสียง

2.4 เครื่องมือทดสอบคุณสมบัติความคงทนของคอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่ผสมแร่ดินเบาและเถ้าขานอ้อย ประกอบด้วย เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องมือวัดขนาด เตาอบ ถังน้ำ ถังแช่กรด และเครื่องมือทดสอบวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)

สถานที่ใช้ทำการทดสอบ

1. ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)
2. บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)
3. โครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติ ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
5. ห้องทดสอบการวัดค่าการดูดซับเสียง คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการผสมวัสดุ

ก่อนการผสมวัสดุมวลรวมทุกชนิดจะนำมาตากแดดให้แห้งประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อเป็นการควบคุมปริมาณน้ำที่จะใช้ผสมให้ถูกต้องมากที่สุด

วิธีการผสม นำหินฝุ่น แร่ดินเบา หรือเถ้าขานอ้อย ที่ชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนแทนที่ หินฝุ่นร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ลงผสมในเครื่องกวนประมาณ 1 นาที แล้วจึงเติม ปูนซีเมนต์ผสมในเครื่องกวนประมาณ 2 นาที เมื่อส่วนผสมเข้ากันดีแล้วจึงเติมน้ำ ปล่อยให้เครื่อง กวนคลุกส่วนผสมให้ได้ประมาณ 2 นาที แล้วลากล้างเข้าเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกเพื่อทำการ ขึ้นรูปต่อไป ดังภาพที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.2

การลำเลียงวัสดุรวมลงผสมในเครื่องกวน



ภาพที่ 4.3

การลำเลียงวัสดุที่ผสมแล้วเข้าเครื่องอัดคอนกรีตบล็อก

การทำตัวอย่างทดสอบ และการบ่มคอนกรีตบล็อก

การทำตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณภาพ ทำการหล่อขึ้นรูปที่โรงงานผลิตคอนกรีตบล็อก วี.อาร์. ตำบลสนับทึบ อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

การขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก เริ่มจากการผสมหินฝุ่น (ภาพที่ 4.4(ก)) และแร่ดินเบา (ภาพที่ 4.4(ข)) หรือ เถ้าขาน้อย (ภาพที่ 4.4(ค)) ตามสัดส่วนที่ได้คำนวณในแต่ละส่วนผสม เทลงในเครื่องผสมจนให้วัสดุเข้ากันดี (ภาพที่ 4.4(ง)) แล้วเติมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ภาพที่ 4.4(จ)) และน้ำ (ภาพที่ 4.4(ฉ)) ให้ส่วนผสมคลุกเคล้าดี แล้วจึงลำเลียงเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกและจะถูกกำหนดขึ้นรูปต่อไป (ภาพที่ 4.4(ซ)) ตามบล็อกพิมพ์กลวง (Hollow Block) ที่กำหนดขนาดไว้ 70x190x390 มิลลิเมตร (ภาพที่ 4.4(ซ)) ซึ่งเป็นขนาดที่นิยมใช้งานใน

ปัจจุบัน จากนั้นนำคอนกรีตบล็อกที่ถูกอัดขึ้นรูปเป็นที่เรียบร้อยแล้ว เรียงเป็นแถวในแนวตั้ง บ่มคอนกรีตบล็อก โดยฝังลงในที่ร่มเป็นเวลาอย่างน้อย 1 วัน (ภาพที่ 4.4(ก)) หลังจากนั้นนำคอนกรีตบล็อกบ่มโดยการแช่น้ำให้มิดทั้งก้อน (ภาพที่ 4.4(ข)) รอจนกว่าจะถึงเวลาที่ต้องนำคอนกรีตบล็อกไปทดสอบตามรายการต่าง ๆ ที่ได้วางแผนไว้ ดังภาพที่ 4.4



(ก) หินฝุ่น



(ข) แร่ดินเบา



(ค) ฝ้าชานอ้อย



(ง) เครื่องผสมวัสดุ



(จ) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



(ด) น้ำประปา



(ซ) เครื่องอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก



(ซ) บล็อกพิมพักลง (Hollow Block)



(ฎ) ผังลมในที่ร่มเป็นเวลาอย่างน้อย 1 วัน



(ฏ) น้ำคอนกรีตบดล็อกบ่มโดยการแช่น้ำ

ภาพที่ 4.4

กระบวนการผลิตและการบ่มคอนกรีตบดล็อกวงชนิดไม่รับน้ำหนัก

สัดส่วนการผสมของคอนกรีตบดล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

ส่วนผสมที่ใช้ในการทำวิจัยประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ หินฝุ่น แร่ดินเบาหรือเถ้าชานอ้อย และน้ำประปา ซึ่งน้ำหนักผสมตามสัดส่วนที่กำหนด การใช้แร่ดินเบาหรือเถ้าชานอ้อยแทนที่หินฝุ่นในการผลิตคอนกรีตบดล็อกดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

สัดส่วนผสมของวัสดุต่างๆในการผลิตคอนกรีตบดล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

วัสดุ	ผสมแร่ดินเบา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				ผสมเถ้าชานอ้อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	0	10	15	20	10	15	20
สัญลักษณ์	N0	D10	D15	D20	SA10	SA15	SA20
ปูนซีเมนต์ (กก.)	326	326	326	326	326	326	326
น้ำประปา (กก.)	173	187	192	206	179	185	198
หินฝุ่น (กก.)	1745	1571	1483	1396	1571	1483	1396
แร่ดินเบา (กก.)	0	174	262	349	0	0	0
เถ้าชานอ้อย (กก.)	0	0	0	0	174	262	349

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

จำนวนตัวอย่างของคอนกรีตบล็อกที่นำมาทดสอบ

ลำดับ ที่	คุณสมบัติที่ทำการทดสอบ	จำนวนตัวอย่างทดสอบ(ก้อน)							
		แทนที่หินปูนด้วย แร่ดินเบา				แทนที่หินปูนด้วย เถ้าขาน้อย			รวม
		0	10	15	20	10	15	20	
1	หน่วยน้ำหนัก	5	5	5	5	5	5	5	35
2	การดูดซึมน้ำ	5	5	5	5	5	5	5	35
3	ความพรุน	1	1	1	1	1	1	1	7
4	การนำความร้อน	1	1	1	1	1	1	1	7
5	กำลังรับแรงอัด (ที่อายุ 3, 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน)	30	30	30	30	30	30	30	210
6	การดูดซับเสียง	20	20	20	20	20	20	20	140
7	ความคงทนต่อสภาวะ การกัดกร่อนของ								
	กรดซัลฟูริก	3	3	3	3	3	3	3	21
	กรดไนตริก	3	3	3	3	3	3	3	21
	กรดไฮโดรคลอริก	3	3	3	3	3	3	3	21
	กรดอะซิติก	3	3	3	3	3	3	3	21
8	การหดตัวแบบแห้ง	5	5	5	5	5	5	5	35
9	ความคงทนต่อสภาวะ เปียกสลับแห้ง	3	3	3	3	3	3	3	21
รวมตัวอย่างที่นำมาทดสอบทั้งหมด		82	82	82	82	82	82	82	574

บทที่ 5

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

ทั่วไป

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุแร่ดินเบา และ แก้วชานอ้อย เมื่อนำวัสดุทั้งสองมาผสมกับหินปูนจะได้คอนกรีตบล็อกที่ทำจากมวลรวมหินปูน ผสมแร่ดินเบา และหินปูนผสมแก้วชานอ้อย จากนั้นจึงทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ การนำความร้อน ทางกล การดูดซับเสียง ตลอดจนความคงทนของคอนกรีตบล็อกที่ผสมแร่ดินเบา และแก้วชานอ้อย การวิเคราะห์ปรากฏการณ์ สาเหตุ และผลลัพธ์ ที่เกิดขึ้นจากผลการทดลอง ของคุณสมบัติดังกล่าวตามขอบเขตซึ่งได้นำเสนอไว้ มีดังต่อไปนี้

องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

ของแร่ดินเบาและแก้วชานอ้อย

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินเบา และแก้วชานอ้อยดังแสดงใน ตารางที่ 5.1 พบว่า องค์ประกอบหลักของแร่ดินเบา และแก้วชานอ้อยเป็นซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) โดยมีค่าร้อยละโดยมวลเท่ากับ 57.32 และ 88.60 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อ พิจารณาจากแหล่งต้นกำเนิดของแร่ดินเบาที่เป็นวัสดุธรรมชาติเหมือนกันกับแก้วชานอ้อย แต่ แร่ดินเบาผ่านกระบวนการสังเคราะห์ภายใต้สภาพแวดล้อมจำเพาะในระยะเวลาอันยาวนานจน ซิลิคอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนรูปผลึกไป ในขณะที่แก้วชานอ้อยเป็นวัสดุที่ผ่านการสังเคราะห์โดย กระบวนการเผาภายในระยะเวลาอันสั้นภายใต้อุณหภูมิจำเพาะเพื่อให้ได้พลังงานความร้อนออกมา มากที่สุด ดังนั้นทั้งรูปผลึกและปริมาณจึงแตกต่างกัน และเพื่อเป็นยืนยันในรูปผลึกที่แตกต่างกัน สามารถทำการทดสอบด้วยวิธี X-Ray Diffraction ต่อไป นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ในแร่ดินเบาที่มีสูงกว่าแก้วชานอ้อย ยิ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างเชิงคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกเมื่อนำไปใช้ในวัสดุร่วมกับปูนซีเมนต์ เนื่องจากปฏิกิริยาของ อะลูมิเนียมออกไซด์มีส่วนต่อการเกาะยึดของมวลรวม และไม่มีเสถียรภาพของวัสดุผสม

สำหรับอีกองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญ และมีปริมาณที่แตกต่างกันในวัสดุทั้งสอง คือ ไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3) โดยองค์ประกอบดังกล่าวมีอยู่ในแร่ดินเบามากกว่าเถาซานอ้อย ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากการที่มีสายแร่เหล็กปะปนในเหมืองแร่ดินเบา

ตารางที่ 5.1

องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินเบา เถาซานอ้อย และหินฝุ่น

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	แร่ดินเบา	เถาซานอ้อย	หินฝุ่น
ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)	57.32	88.60	53.27
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	13.13	3.82	13.14
ไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3)	6.13	2.15	8.45
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.44	2.95	4.27
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.46	0.94	2.65
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	1.58	2.32	3.80
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	0.02	0.00	0.11
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	0.30	0.30	9.19

สำหรับในประเด็นผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินเบา และเถาซานอ้อย ได้สรุปไว้ในแสดงตารางที่ 5.2 พบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ของเถาซานอ้อยมีค่าต่ำมาก ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากเถาซานอ้อยได้ผ่านกระบวนการเผาจนหมดความชื้น และปริมาณคาร์บอนอิสระออกจากวัสดุมาแล้ว ดังนั้นเมื่อนำมาทดสอบค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ซึ่งต้องเผาวัสดุถึงที่อุณหภูมิ 950 ± 50 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณความชื้น และคาร์บอนอิสระ ที่ขับออกมาเพียงเล็กน้อย สิ่งนี้ทำให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของการเผาไหม้เถาซานอ้อยมีวัตถุประสงค์ในการนำมาใช้เป็นวัสดุในงานปูนซีเมนต์ได้ ซึ่งจากอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบันอยู่ที่ระหว่าง 1000-1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที ซึ่งอาจต้องเพิ่มระยะเวลาการเผาไหม้มากกว่าเดิม แต่กระนั้นก็มีข้อสังเกตร่วมคือ เชื้อเพลิงที่ใช้เผาเพื่อผลิตความร้อน สำหรับโรงงานน้ำตาลนี้ไม่ได้มีเถาซานอ้อยเพียงอย่างเดียว แต่มีเถาแกลบและเปลือกไม้ร่วมอยู่ด้วย ซึ่งในกระบวนการเผาจริงวัสดุทั้งสามมีอุณหภูมิของการเผาเพื่อได้คาร์บอนที่ไม่เท่ากันผนวกกับ

ระยะเวลาในเผาที่สั้น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ถึงการทับซ้อนของอนุภาควัสดุทั้งสามในเตาเผา ทำให้มีปริมาณคาร์บอนคงค้างอยู่บ้างแม้ว่าอุณหภูมิของการเผามีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบการเผาในการทดสอบการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้หรืออาจเข้าไปใกล้เคียงกับการเผาปูนซีเมนต์

ในทางตรงกันข้ามกับถ้ำซานอ้อย แร่ดินเบามีค่าการสูญเสียน้ำหนักที่สูงกว่าถ้ำซานอ้อย ทั้งนี้มาจากปริมาณความชื้นในตัววัสดุมีอยู่สูง (ร้อยละ 6.19)

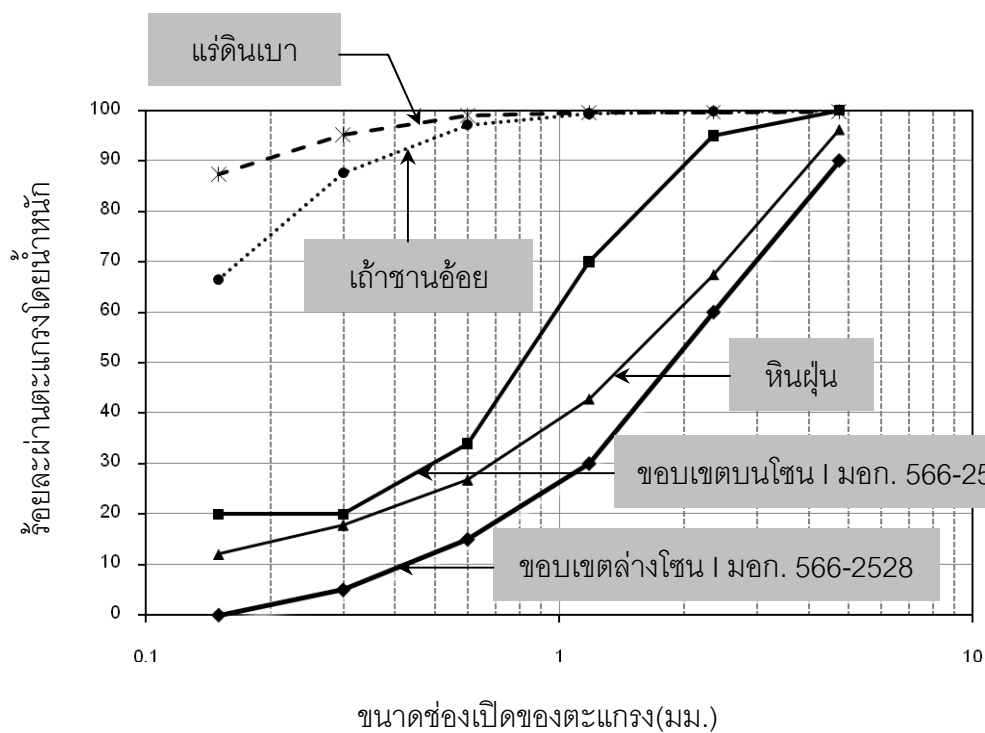
เมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านการพัฒนากำลังอัดเบื้องต้นของทั้งแร่ดินเบาและถ้ำซานอ้อยโดยใช้ดัชนีกำลังเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม พบว่าทั้งอายุ 7 และ 28 วัน ดัชนีกำลังของแร่ดินเบามีค่าร้อยละ 53.97 และ 67.32 ในขณะที่ถ้ำซานอ้อยมีค่าร้อยละ 52.69 และ 52.57 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน American Society for Testing and Materials ASTM 618 ที่กำหนดอัตราการพัฒนาดัชนีกำลังไว้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 75 ดังนั้นแนวทางการใช้งานหากไม่มีการปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าว แนวทางคือการนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของมวลรวมในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก แต่กระนั้นตัวแปรที่ต้องนำมาพิจารณาต่อไปคือ ความต้องการน้ำ เนื่องจากเป็นปัจจัยต่อการพัฒนากำลังของคอนกรีตบล็อก ซึ่งจากผลการทดสอบยังพบด้วยว่า แร่ดินเบามีความต้องการน้ำสูงถึงร้อยละ 144.63 สูงกว่าถ้ำซานอ้อยที่มีเพียงร้อยละ 110.74 ทั้งนี้เหตุผลประการหนึ่งที่ทำให้แร่ดินเบามีความต้องการสูงก็เนื่องมาจากความละเอียดและขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ทำให้ต้องการปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้มอร์ตาร์มีค่าการไหลแผ่ตามที่กำหนดไว้ (ค่าการไหลแผ่ตามมาตรฐานคือปริมาณน้ำใส่เข้าไปในส่วนผสมของมอร์ตาร์แล้วทำให้มอร์ตาร์มีความสามารถในการลื่นไหลอยู่ในช่วงร้อยละ 110 ± 5 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งต้น)

ตารางที่ 5.2

คุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินเบา เถ้าขาน้อยและหินฝุ่น

องค์ประกอบทางกายภาพ	แร่ดินเบา	เถ้า ขาน้อย	หินฝุ่น
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ (LOI) (ร้อยละ)	20.12	0.24	6.27
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	6.19	5.47	1.37
ความละเอียด (ค้ำสละสมบนตะแกรงเบอร์ 325)(ร้อยละ)	40.46	66.06	98.88
ดัชนีกำลังเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม			
ที่อายุ 7 วัน (ร้อยละ)	53.97	52.69	84.05
ที่อายุ 28 วัน (ร้อยละ)	67.32	52.57	80.45
ความต้องการน้ำ (ร้อยละ)	144.63	110.74	102
ความถ่วงจำเพาะ	2.12	1.80	2.63
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	575	444	1290
ค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.)	0.20	0.50	3.37

คุณสมบัติอีกประการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประเมินศักยภาพในการนำมาใช้ทำเป็นคอนกรีตบล็อกได้คือ การกระจายขนาดคละในรูปของร้อยละผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ เทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 566-2528 ซึ่งภาพที่ 5.1 พบว่าวัสดุมวลรวมที่ใช้กันอยู่โดยปกติคือ หินฝุ่น มีค่าการกระจายขนาดคละ (Gradation) อยู่ในช่วงขอบเขตของโซนที่ I ตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ ในขณะที่ทั้งแร่ดินเบา และเถ้าขาน้อย มีค่าการกระจายขนาดคละที่ไม่อยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน โดยส่วนใหญ่อนุภาคของวัสดุทั้งสองมีส่วนละเอียดอยู่เป็นจำนวนมาก (ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 100 มีค่าสูงกว่าร้อยละ 60) ดังนั้นความเป็นไปได้คือการนำวัสดุทั้งสองไปใช้แทนที่ในหินฝุ่นเพื่อเพิ่มอนุภาคในส่วนละเอียดของการผลิตคอนกรีตบล็อกต่อไป

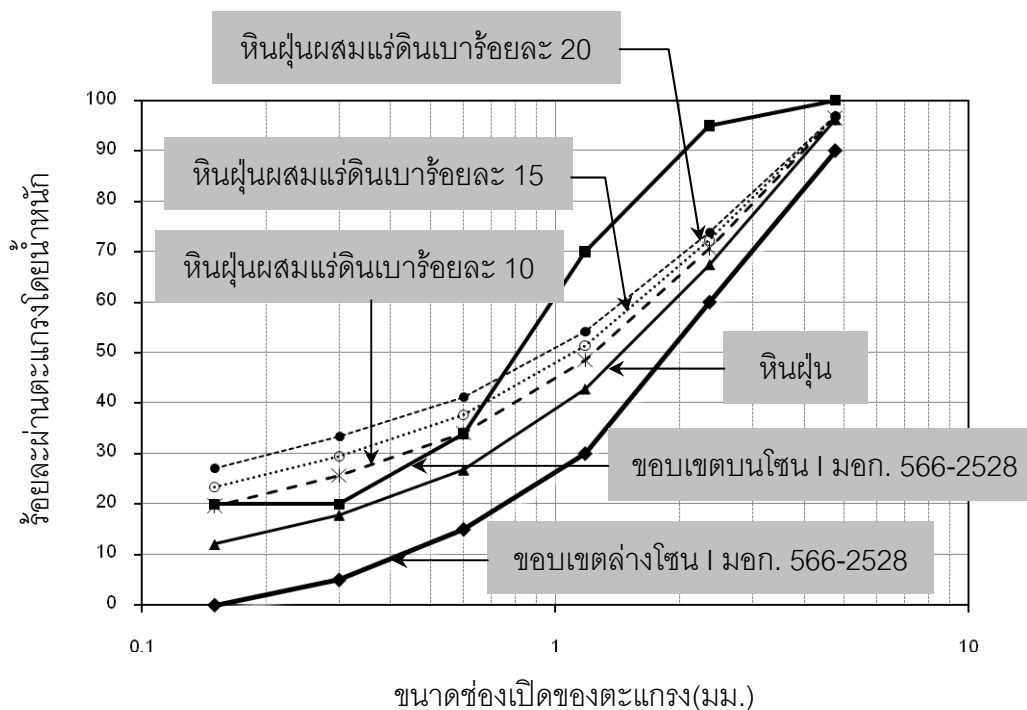


ภาพที่ 5.1

การกระจายขนาดคละของวัสดุมวลรวมแต่ละชนิด

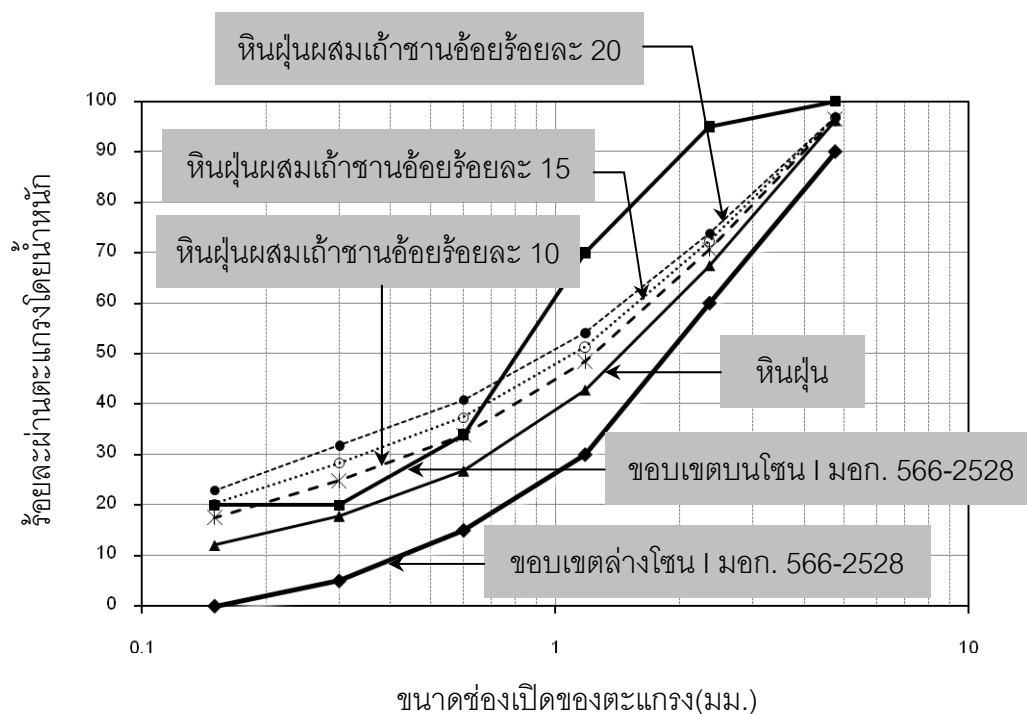
สำหรับผลิตคอนกรีตบล็อก

การกระจายขนาดคละในรูปของร้อยละผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ เทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 566-2528 ขอบเขตของโซนที่ I เมื่อนำวัสดุทั้งสองไปใช้แทนที่ในหินฝุ่นตามสัดส่วนร้อยละ 10 , 15 และ 20 โดยน้ำหนัก จะได้ดังภาพที่ 5.2 และ 5.3



ภาพที่ 5.2

การกระจายขนาดคละของวัสดุมวลรวมดินร่วนผสมแร่ดินเบาสำหรับผลิตคอนกรีตบล็อก

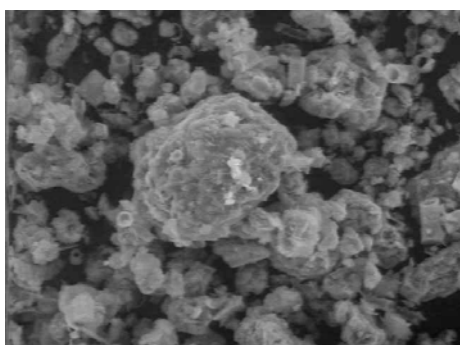


ภาพที่ 5.3

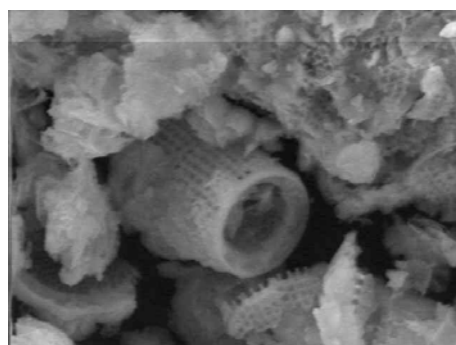
การกระจายขนาดคละของวัสดุมวลรวมดินร่วนผสมเถ้าขาน้อยสำหรับผลิตคอนกรีตบล็อก

จากภาพที่ 5.2 และ 5.3 จะพบว่าการแทนที่หินปูนด้วยแร่ดินเบา และเถ้าขาน้อย นั้นทำให้มีส่วนละเอียดในมวลรวมมากขึ้นส่งผลให้ไม่อยู่ในช่วงขอบเขตมาตรฐาน ด้วยสาเหตุนี้จึง ส่งผลให้การผลิตคอนกรีตบล็อกต้องใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์มากขึ้นและกำลังอัดของ คอนกรีตบล็อกน้อยลง ตามสัดส่วนการแทนที่หินปูนที่มากขึ้น

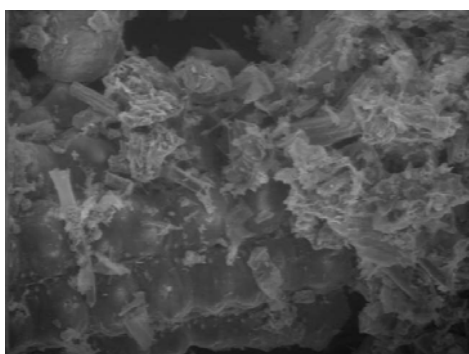
จากผลการทดสอบขนาดและรูปร่างของอนุภาคแร่ดินเบาและเถ้าขาน้อย ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope พบว่าแร่ดินเบาามีลักษณะมนกลมผิวเรียบและมีความพรุนตัว สูง ส่วนเถ้าขาน้อยมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมผิวขรุขระ ดังภาพที่ 5.4



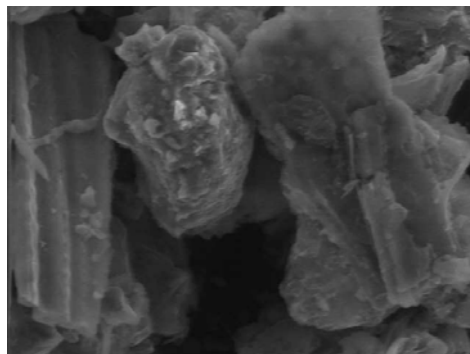
(ก) อนุภาคแร่ดินเบา กำลังขยาย 250 เท่า



(ข) อนุภาคแร่ดินเบา กำลังขยาย 2000 เท่า



(ค) อนุภาคเถ้าขาน้อยกำลังขยาย 250 เท่า



(ง) อนุภาคเถ้าขาน้อยกำลังขยาย 1000 เท่า

ภาพที่ 5.4

ภาพขยายแร่ดินเบา และเถ้าขาน้อย ด้วยเครื่อง

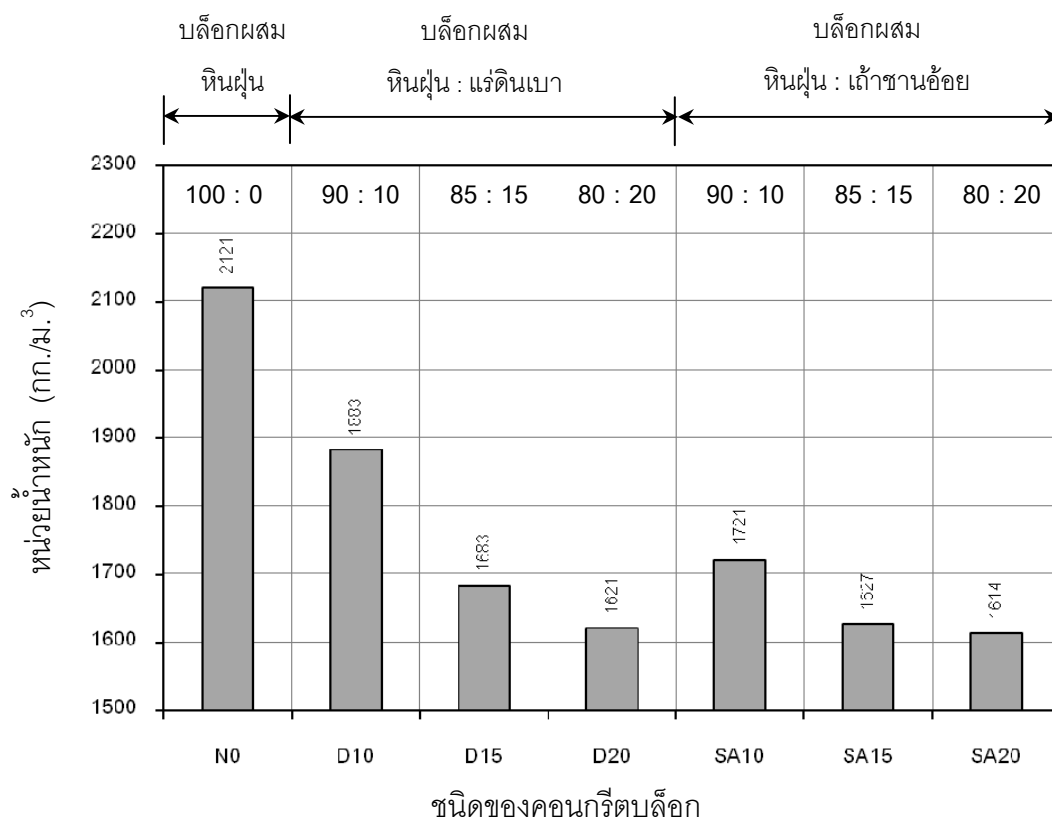
Scanning Electron Microscope

คุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อก ผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าชานอ้อย

เมื่อนำแร่ดินเบาและเถ้าชานอ้อยมาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนัก (Non-Load Bearing Concrete Block) ตามขนาดที่นิยมใช้คือ 70 มิลลิเมตร x 190 มิลลิเมตร x 390 มิลลิเมตร แล้วทำการบ่มในน้ำไม่น้อยกว่า 28 วัน จากนั้นจึงนำมาทดสอบหาคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน มอก. 109-2517 ที่ว่าด้วยการหาค่าหน่วยน้ำหนัก และการดูดซึมน้ำ ส่วนการหาค่าความพรุนจะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 4284 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

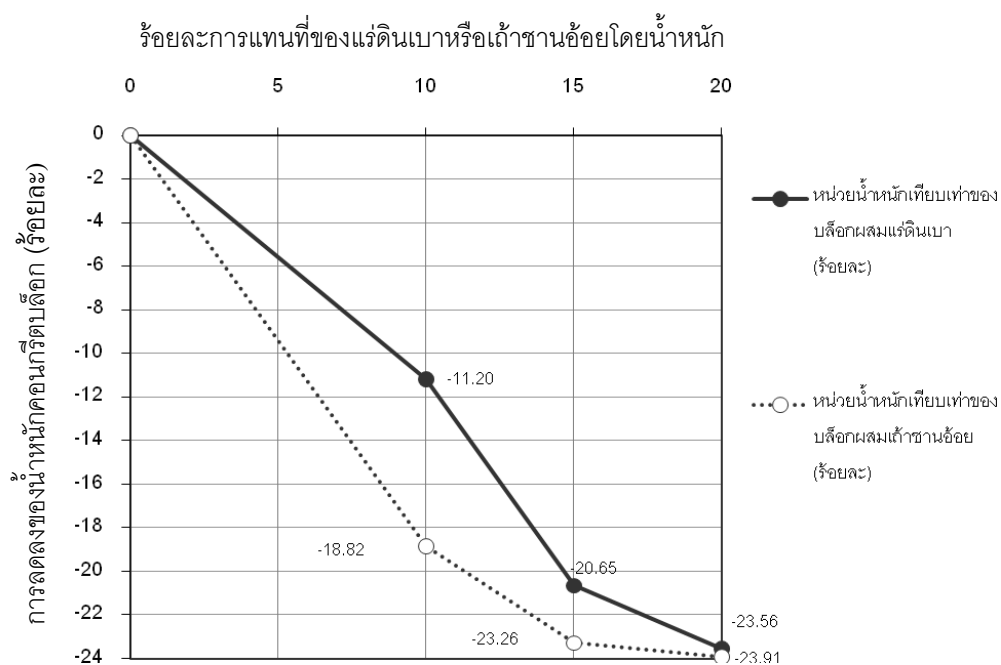
1. หน่วยน้ำหนัก

ภาพที่ 5.5 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกปกติที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมทั้งหมด คอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าชานอ้อย ในอัตราส่วนการแทนที่โดยน้ำหนักของหินปูนร้อยละ 10, 15 และ 20 ตามลำดับ พบว่าแนวโน้มการลดลงของค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าชานอ้อยมีทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อทำการแทนที่หินปูนด้วยแร่ดินเบาหรือเถ้าชานอ้อย ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกลดลงตามลำดับ และมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปกติ สาเหตุสำคัญของการลดลงดังกล่าวมาจากค่าความถ่วงจำเพาะของแร่ดินเบาและเถ้าชานอ้อย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.12 และ 1.80 ตามลำดับ ต่ำกว่าหินปูนซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.63 (ตารางที่ 5.2) ดังนั้นเมื่อคิดที่เงื่อนไขการขึ้นเป็นรูปของบล็อก (Formation Conditions) ด้วยการแทนที่ด้วยวัสดุทั้งสองในหินปูนทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกลดลง และมีค่าลดลงมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนของการแทนที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยจากภาพที่ 5.6 จะเห็นว่าเมื่อทำการแทนที่แร่ดินเบาในหินปูนร้อยละ 20 จะทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกลดลงเกือบหนึ่งในสี่ของบล็อกผสมหินปูนอย่างเดียว ซึ่งในอัตราส่วนการแทนที่เดียวกันนี้ทำให้คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อยมีน้ำหนักที่ลดลงในอัตราส่วนใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 5.5

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ



ภาพที่ 5.6

ร้อยละการลดลงของหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก ผสมแร่ดินเบาและผสมภูเขาหินอ่อน

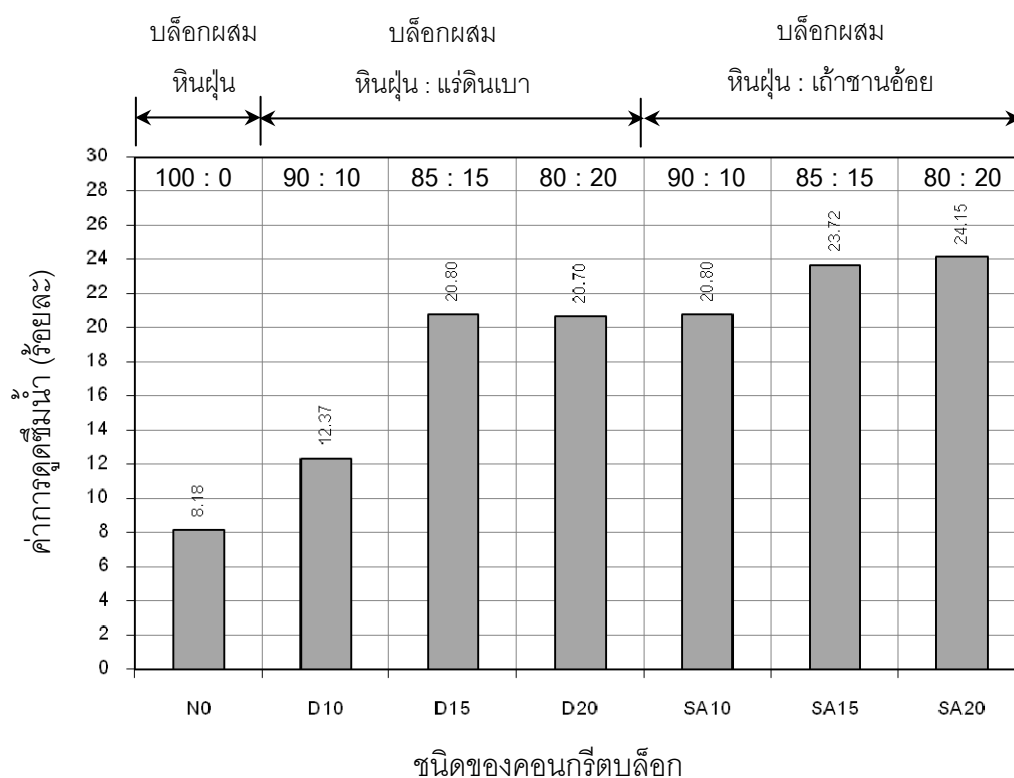
ประเด็นหนึ่งที่น่าสังเกตเกี่ยวกับการลดลงของค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา และเถ้าขาน้อย คือ ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 10 ค่าหน่วยน้ำหนักของบล็อกผสมเถ้าขาน้อยมีค่าลดลงมากกว่าที่ผสมแร่ดินเบาหรือมีค่าแตกต่างกันอยู่ที่ประมาณร้อยละ 7.62 ในขณะที่เมื่อการแทนที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 15 และ 20 ค่าความต่างของหน่วยน้ำหนัก กลับลดลงเหลือเพียงแค่ร้อยละ 2.16 และ 0.35 ทั้งนี้เพราะในช่วงของอัตราส่วนการแทนที่ของแร่ดินเบาในหินปูนร้อยละ 10 อนุภาคของแร่ดินเบาสามารถเติมแทรกเข้าไปภายในช่องว่างระหว่างเม็ดหินปูนได้ ในขณะที่เถ้าขาน้อยเข้าไปเพียงเล็กน้อย ดังนั้นพื้นที่ช่องว่างของบล็อกทั้งสองประเภทจึงแตกต่างกันโดยคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อยที่มีพื้นที่ภายในช่องว่างมากจะส่งผลต่อความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักที่ลดลงตามไปด้วย

2. ปริมาณการดูดซึมน้ำ

จากผลการทดสอบหาปริมาณการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา ดังแสดงในภาพที่ 5.7 พบว่าเมื่อนำคอนกรีตบล็อกมาทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ ปรากฏว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ของแร่ดินเบาในหินปูนที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีผลทำให้การดูดซึมน้ำภายในก้อนคอนกรีตบล็อกเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.19 จากคอนกรีตบล็อกปกติที่มีเฉพาะหินปูน และเพิ่มขึ้นต่อเนื่องเป็นร้อยละ 12.62 จากคอนกรีตบล็อกปกติที่มีเฉพาะหินปูน เมื่อมีการแทนที่ของแร่ดินเบาในหินปูนที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ต่อจากนั้นการดูดซึมน้ำจะคงที่จนถึงการแทนที่ของแร่ดินเบาในหินปูนที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก การเพิ่มขึ้นของความสามารถดังกล่าวในช่วงแรกตามปริมาณของแร่ดินเบาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากด้วยอนุภาคส่วนละเอียดของแร่ดินเบามีส่วนในการดูดซึมน้ำได้ดี ถึงแม้ว่าผลของการเติมแทรกของแร่ดินเบาในเนื้อคอนกรีตบล็อกจะมีบ้าง แต่การดูดซึมน้ำที่ปรากฏชี้ให้เห็นถึงระดับความพรุนของคอนกรีตบล็อกที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแร่ดินเบาเพิ่มขึ้น แต่ในช่วงท้ายที่มีการแทนที่ของแร่ดินเบาในหินปูนที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีค่าใกล้เคียงกับการแทนที่ของแร่ดินเบาในหินปูนที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก อันเนื่องมาจากแร่ดินเบาเข้าไปแทรกในช่องว่างของหินปูนได้มากขึ้น

จากภาพที่ 5.7 ผลการทดสอบหาปริมาณการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อย พบว่าความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเถ้าขาน้อยที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อย พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าขาน้อยในหินปูนที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีผลทำให้การดูดซึมน้ำภายในก้อนคอนกรีตบล็อกเพิ่มขึ้นมากถึงร้อยละ 12.62 จากคอนกรีตบล็อกปกติที่มีเฉพาะหินปูน ซึ่งหมายถึง

อนุภาคเถ้าขาน้อยสามารถกักเก็บน้ำเข้าไปภายในได้ดี แต่เมื่อเพิ่มร้อยละของการแทนที่เป็นร้อยละ 15 ค่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ไปจนถึงอัตราส่วนร้อยละ 20 คือร้อยละ 2.92 และ 0.42 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณของเถ้าขาน้อยในก้อนคอนกรีตบล็อกเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง การอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกทำให้เกิดการแตกหักของอนุภาคเถ้าขาน้อยมากขึ้นส่งผลให้มวลแน่นขึ้น



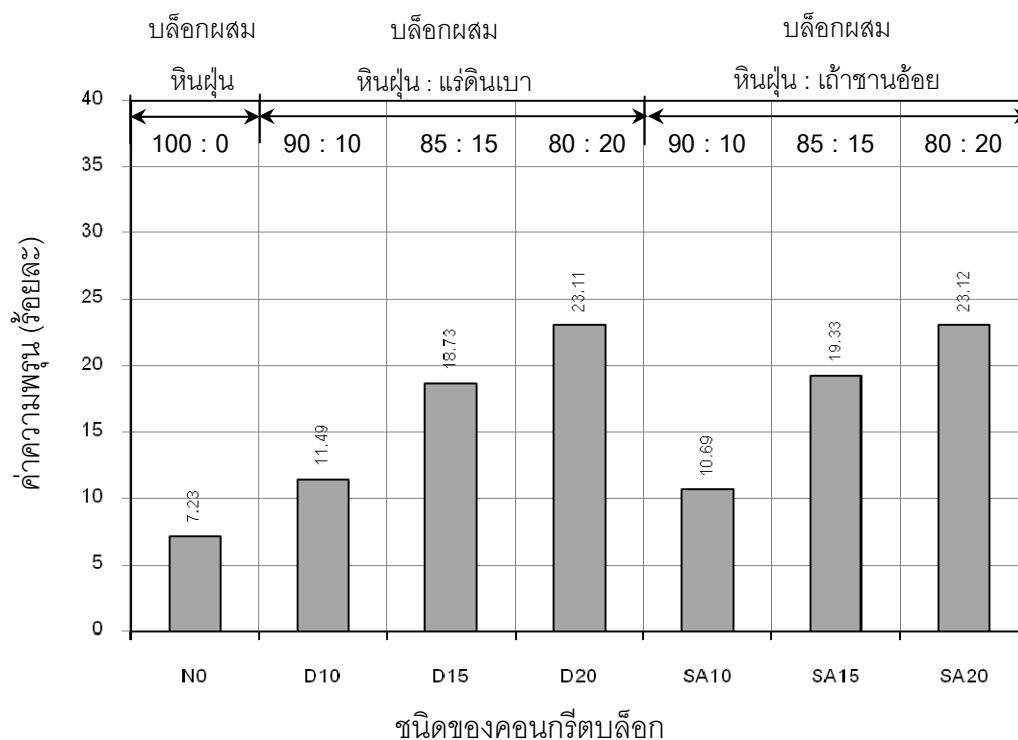
ภาพที่ 5.7

คุณสมบัติการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก

ผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าขาน้อย

3. ค่าความพรุน

จากการทดสอบความพรุน ด้วยวิธี Mercury Intrusion Porosimetry (MIP) ตามมาตรฐาน ASTM D 4284 โดยใช้ปรอทอัดด้วยแรงดันแทนที่ช่องว่างของเนื้อวัสดุ เมื่อพิจารณาค่าความพรุนของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าขานอ้อย เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติ ดังแสดงในภาพที่ 5.8 พบว่า ในกรณีของบล็อกคอนกรีตผสมแร่ดินเบา มีค่าความพรุนเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ของแร่ดินเบาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากแร่ดินเบาเป็นวัสดุพรุน ดังนั้นในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกที่มีแร่ดินเบาเพิ่มขึ้น จึงทำให้โครงสร้างภายในมีความพรุนเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่กระนั้นจากการบดอัดในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปจะเกิดการแตกหักของโครงสร้างอนุภาคบ้างแต่ความพรุนโดยรวมยังคงเพิ่มขึ้น ค่าความพรุนโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.23 เป็นร้อยละ 11.49, 18.73 และ 23.11 สำหรับคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา ร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ในขณะที่การใช้เถ้าขานอ้อยผสมคอนกรีตบล็อก มีผลทำให้คอนกรีตบล็อกมีความพรุนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และใกล้เคียงกันกับคอนกรีตบล็อกที่ผสมแร่ดินเบา โดยที่คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อย ที่ร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก มีค่าความพรุนร้อยละ 10.69, 19.33 และ 23.12 ตามลำดับ



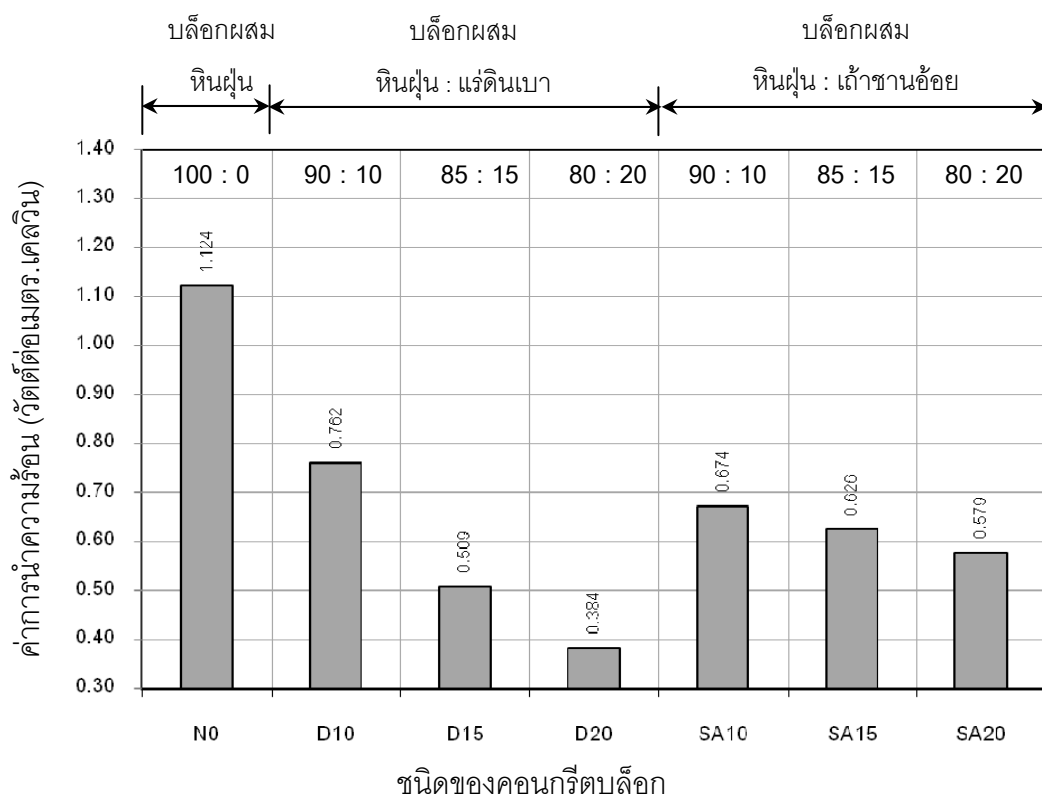
ภาพที่ 5.8

ค่าความพรุนของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

คุณสมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก

ผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าขาน้อย

สำหรับการทดสอบค่าการนำความร้อน ตามมาตรฐาน JIS R 2618 โดยใช้เครื่องมือส่งถ่ายความร้อนจากผนังบล็อกด้านหนึ่งแล้ววัดค่าความร้อนอีกด้านหนึ่ง แล้วนำมาคำนวณค่าการนำความร้อน ผลที่ได้ดังแสดงในภาพที่ 5.9 ซึ่งพบข้อเท็จจริงที่ว่า ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าขาน้อย มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปกติ และมีค่าลดลงตามลำดับเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของวัสดุทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตบล็อกปกติมีค่าถึง 1.124 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ในขณะที่เมื่อใช้แร่ดินเบา หรือเถ้าขาน้อยแทนที่ในหินปูนร้อยละ 20 มีค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 0.384 และ 0.579 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงความพรุนของคอนกรีตบล็อกที่เพิ่มขึ้นทำให้ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านที่ว่างภายในได้น้อยกว่า นอกจากนั้นจะเห็นว่าวัสดุทั้งสองมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนในตัวเองจึงส่งผลให้การนำความร้อนโดยรวมของก้อนคอนกรีตบล็อกผสมมีค่าลดลง ประโยชน์ที่จะได้รับถ้านำไปเป็นผนังภายนอกอาคารจะทำให้การนำความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคารลดน้อยลง



ภาพที่ 5.9

ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

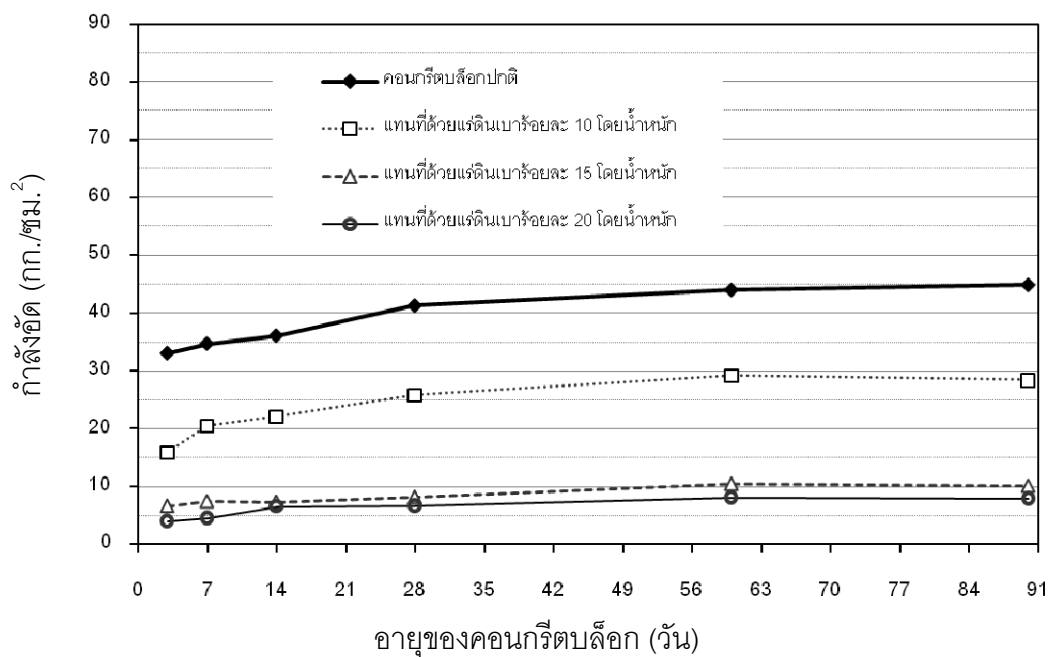
คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อก ผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าขาน้อย

1. กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกปกติ

เมื่อพิจารณาการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกปกติ ที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมทั้งหมด แสดงได้ในภาพที่ 5.10 พบข้อเท็จจริงที่ว่า อัตราการพัฒนากำลังอัดจนถึงที่อายุ 90 วันของบล็อกคอนกรีตมีค่าต่ำมาก และค่ากำลังอัดที่ได้มาจากช่วงต้นที่ได้จากการอัดตัวของบล็อกในกระบวนการขึ้นรูป โดยเฉพาะค่ากำลังอัดที่ได้ปฏิกิริยาเคมี มีค่อนข้างต่ำ เนื่องจากในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกมีปริมาณปูนซีเมนต์ค่อนข้างต่ำมาก ซึ่งจากผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกปกติที่อายุ 28 วัน มีค่า 41.32 กก./ตร.ซม. ในขณะที่คอนกรีตบล็อกปกติที่อายุ 90 วัน มีค่า 44.89 กก./ตร.ซม.

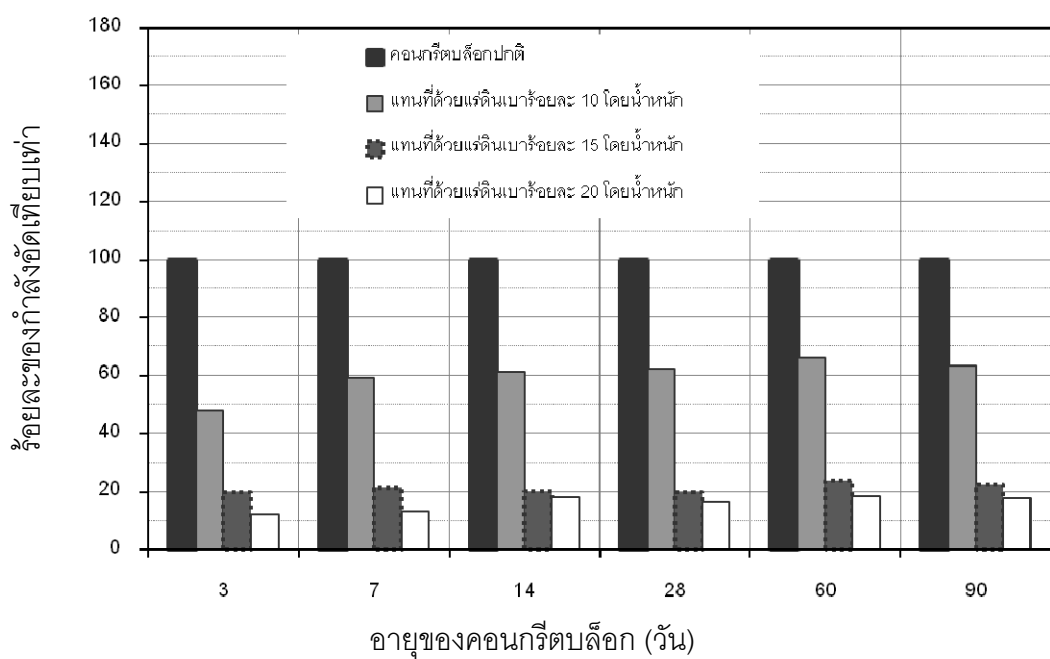
2. กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา

จากรูปที่ 5.10 แสดงการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบาพบว่า เมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของแร่ดินเบามากขึ้นมีผลต่อค่าการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ลดต่ำลงตามลำดับ จากรูปที่ 5.11 จะเห็นได้จากการเปรียบเทียบกำลังอัดที่อายุ 28 วัน คอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา มีกำลังอัดเพียงร้อยละ 62.37, 19.74 และ 16.23 ของคอนกรีตบล็อกปกติ ที่อัตราส่วนการแทนที่แร่ดินเบาเท่ากับร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของหินปูนตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัดตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนดค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 25.0 กก./ตร.ซม. จะมีเพียงที่อัตราส่วนผสมแร่ดินเบาร้อยละ 10 ที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่ากำลังอัด 25.77 กก./ตร.ซม. ที่เกินกว่าค่ามาตรฐานดังกล่าว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนการแทนที่มากกว่านี้ ไม่เหมาะที่จะนำมาผสมทำคอนกรีตบล็อก นอกจากจะได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของแร่ดินเบาให้มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5.10

การพัฒนาการเลี้ยงของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา

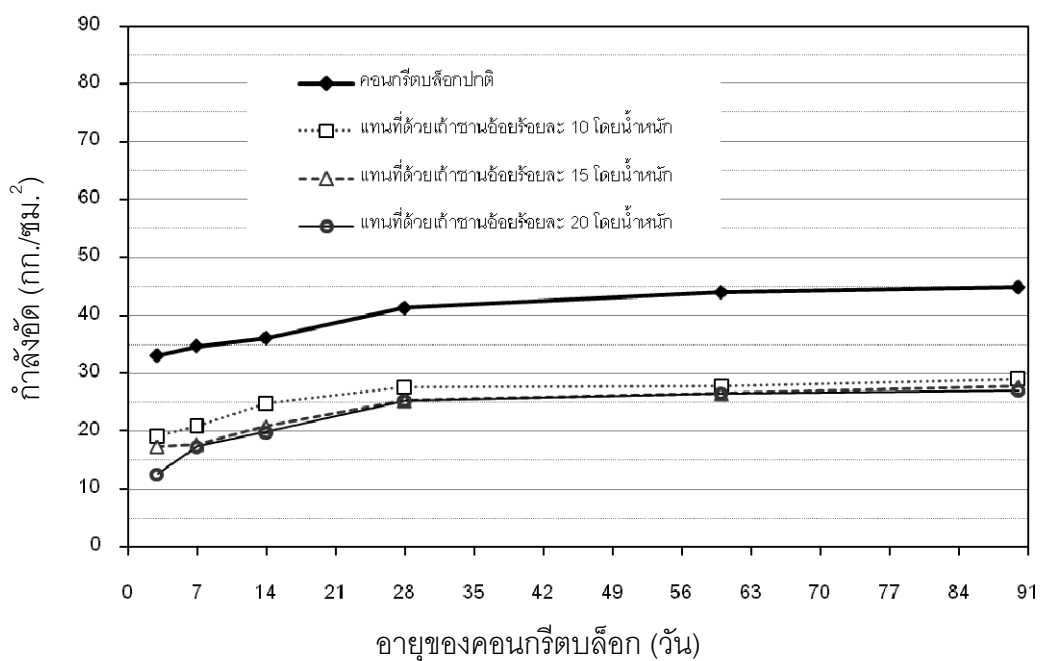


ภาพที่ 5.11

ค่าการเลี้ยงของคอนกรีตบล็อกปกติ กับคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา

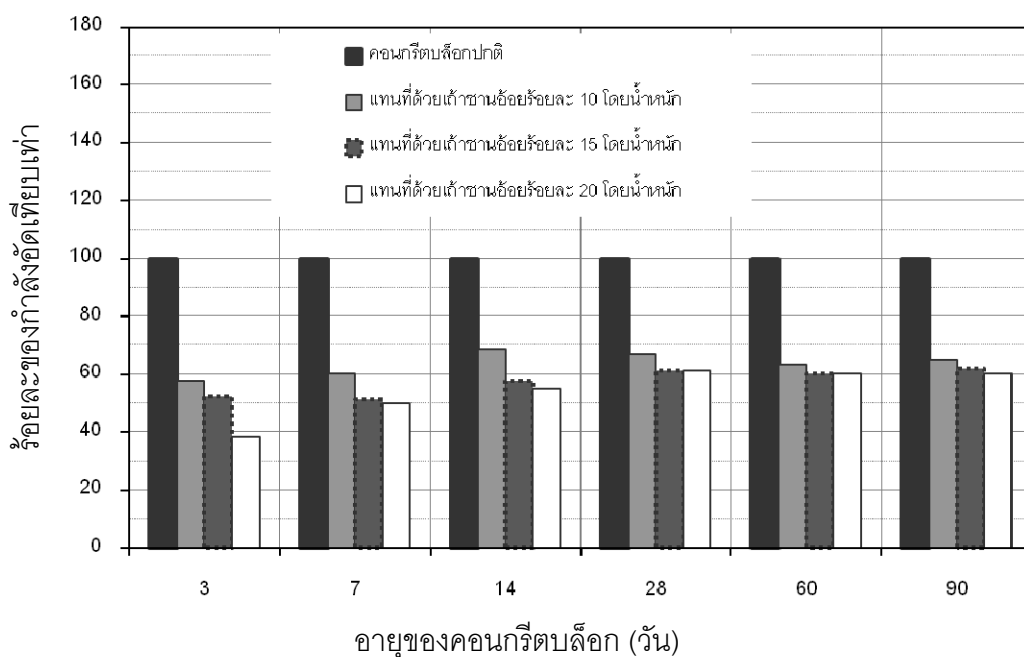
3. กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อย

ในทำนองเดียวกันกับแนวโน้มด้านการพัฒนากำลังของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าดินเบา การใช้เถ้าขาน้อยมีผลทำให้การพัฒนากำลังของคอนกรีตบล็อกต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปกติ ดังแสดงในภาพที่ 5.12 และ 5.13 กล่าวคือ เมื่อพิจารณาค่ากำลังของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 28 วัน จะเห็นว่ากำลังของบล็อกที่ได้มีค่าร้อยละ 66.80, 61.28 และ 61.17 ของคอนกรีตบล็อกปกติ เมื่อใช้เถ้าขาน้อยแทนที่ในหินปูนร้อยละ 10, 15 และ 20 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าค่าร้อยละของกำลังอัดที่อายุดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความไม่แตกต่างดังกล่าวน่าจะมาจากที่ในขณะขึ้นรูปบล็อก ค่ากำลังอัดของเครื่องขึ้นรูปมีผลทำลายอนุภาคของเถ้าขาน้อยให้เล็กลงจนได้ความแน่นของโครงสร้างภายในใกล้เคียงกันมาก นอกจากนั้นเมื่อใช้มาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเป็นเกณฑ์จะสามารถใช้เถ้าขาน้อยแทนที่ในหินปูนได้ถึงร้อยละ 20 โดยน้ำหนักอีกด้วย โดยที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่ากำลังอัด 25.27 กก./ตร.ซม.



ภาพที่ 5.12

การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อย



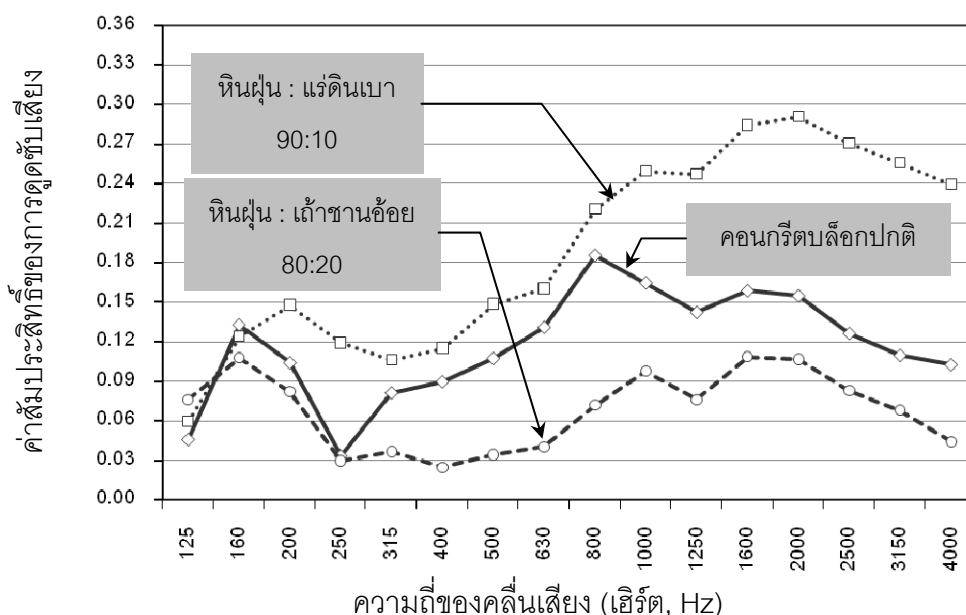
ภาพที่ 5.13

ค่ากำลังอัดเทียบเท่าของคอนกรีตบล็อกปกติ
กับคอนกรีตบล็อกผสมเก้าอี้ชานอ้อย

คุณสมบัติการดูดซับเสียงของคอนกรีตบล็อก ผสมแร่ดินเบาและผสมเก้าอี้ชานอ้อย

สำหรับคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่เกี่ยวข้องกับเสียงสามารถพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับเสียงที่ระดับความถี่ต่างๆ ซึ่งระดับพลังงานเสียงที่ตกกระทบวัสดุทดสอบอย่างอิสระและถูกดูดซับไว้ภายใน โดยทำการทดสอบภายในห้องทดสอบชนิด Reverberation Room ตามมาตรฐาน ASTM C 423 โดยในที่นี้ได้เลือกตัวอย่างคอนกรีตบล็อกที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.58-2533 ด้านแรงอัดกำหนดค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 25.0 กก./ตร.ซม. ในสัดส่วนผสมที่มากที่สุดคือ แร่ดินเบาและเก้าอี้ชานอ้อยพื้นที่หินปูนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มาศึกษา ได้ผลสรุปดังภาพที่ 5.14 พบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีลักษณะเดียวกันในคอนกรีตบล็อกปกติที่ผสมหินปูนอย่างเดียว และที่ผสมแร่ดินเบาหรือเก้าอี้ชานอ้อย กล่าวคือ คอนกรีตบล็อกปกติมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงจากระดับความถี่ของเสียงต่ำสุดที่ทำการทดสอบ (125 เฮิรต) เพิ่มขึ้น จนถึงความถี่ 160 เฮิรต จากนั้นจะลดลงต่อเนื่องจนถึงความถี่ 250 เฮิรต ต่อจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง

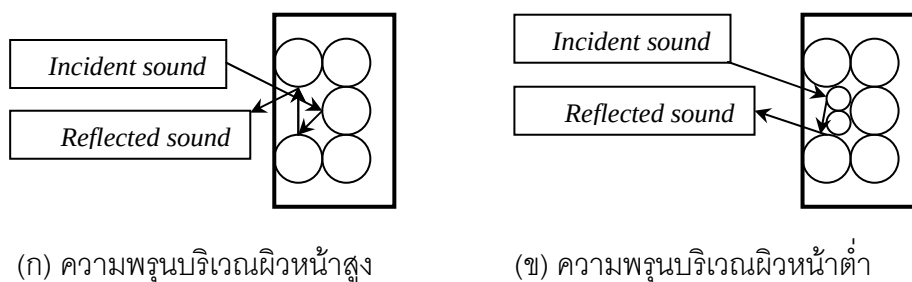
ที่ความถี่ 800 เฮิร์ต ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับเสียงเท่ากับ 0.19 ต่อจากนั้นจะลดลงตามลำดับ จนถึงที่ความถี่ 4000 เฮิร์ต อันแสดงให้เห็นว่าวัสดุประเภทคอนกรีตบล็อกมีการตอบสนองต่อพลังงานเสียงที่ระดับแต่ละความถี่แตกต่างกัน โดยอาศัยหลักการตามธรรมชาติของลักษณะพื้นผิว คอนกรีตบล็อก และการกระจายของอนุภาคที่ผิวบล็อก รวมทั้งช่องว่างที่บริเวณผิวด้วย ซึ่งหาก บล็อกมีอนุภาคที่ผิวที่สามารถสอดคล้องทางเสียง (Particle-Sound Compatibility) ก็จะมี ความสามารถในการสั่นและสลายพลังงานเสียงได้ เนื่องจากเสียงจำเป็นต้องอาศัยตัวกลางคือ อากาศ และทำให้โมเลกุลของอากาศสั่นต่อเนื่องกัน ซึ่งแน่นอนที่ว่า พลังงานเสียงทั้งหมดที่ตก กระแทบจะมีค่าเท่ากับเสียงที่สะท้อนออกรวมกับเสียงที่ทำการดูดซับ ดังนั้นหากอนุภาคของวัสดุ เป็นส่วนประกอบบล็อก โดยเฉพาะมีบริเวณที่ผิวบล็อกมีขนาดใหญ่กว่าคลื่นความยาวเสียงก็จะ ทำให้โอกาสที่เสียงจะถูกดูดกลืนได้มาก แต่ในทางตรงกันข้ามหากเสียงกระทบกับอนุภาคที่มี ขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นเสียงก็จะทำให้การดูดกลืนพลังงานเสียงลดลง ซึ่งจากหลักการนี้ทำให้ ทราบว่า บล็อกคอนกรีตมีอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นเสียงที่ตกกระทบ อีกประการ หนึ่งคือ ความพรุนของบล็อกซึ่งสามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 5.15 โดยหากมีเงื่อนไขความพรุนมาก จะทำให้โอกาสที่คลื่นเสียงสะท้อนกลับได้น้อยลง เนื่องจากเสียงสะท้อนกลับไปกลับมาภายใน โครงสร้างบล็อกจนพลังงานลดลงอย่างมากแล้วสะท้อนออกมาน้อย(เงื่อนไขนี้ใช้ได้บริเวณผิวแห้ง)



ภาพที่ 5.14

คุณสมบัติในการดูดซับเสียงของคอนกรีตบล็อก

ผสมแร่ดินเบาและผสมแก้วชานอ้อย



ภาพที่ 5.15

ตัวอย่างไดอะแกรมแสดงอิทธิพลของความพรุนบริเวณผิวหน้า
ที่มีต่อการสะท้อนของคลื่นเสียง

ดังนั้นจากผลการศึกษาลำดับสำคัญจึงอยู่ที่การจัดเรียงอนุภาคภายในคอนกรีตบล็อก และขอบเขตของการใช้งานว่าเสียงจะมีอยู่ในช่วงความถี่ใด แล้วจึงมาคำนวณสัดส่วนผสมและการอัดแน่นในระหว่างการขึ้นรูปให้มีความสอดคล้องกัน

สำหรับอิทธิพลของการใช้แร่ดินเบาแทนที่ในหินปูนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงโดยนำค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของความถี่คลื่นเสียงที่ 250, 500, 1000 และ 2,000 เฮิรต มาหาค่าเฉลี่ย เรียกว่าค่า NRC (Noise Reduction Coefficient) มีค่าเท่ากับ 0.20 มากกว่าคอนกรีตบล็อกปกติซึ่งเท่ากับ 0.12 เนื่องจากระดับความพรุนที่ผิวหน้าของบล็อกเพิ่มขึ้น ดังนั้นโอกาสที่พลังงานเสียงจะถูกถ่ายทอดผ่านตัวกลางเข้าไปหักเห ทำให้พลังงานที่สะท้อนออกลดลง ในขณะที่การแทนที่เถ้าขาน้อยในหินปูนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีค่า NRC เท่ากับ 0.07 กลับให้ผลที่ลดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ลดลงน้อยกว่าบล็อกปกติอื่น เนื่องจากระดับความพรุนที่ผิวหน้าของบล็อกน้อยลง แต่ยังคงให้แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับบล็อกปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบมวลรวมหลักของบล็อกยังคงเป็นหินปูน จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ยังขึ้นอยู่กับวัสดุดังกล่าว ส่วนผลที่เกิดกับค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงน่าจะมาจากการกระแทกในระหว่างการขึ้นรูปแล้วทำให้อนุภาคของเถ้าขาน้อยแตกละเอียดเล็กลง ส่งผลให้ความพรุนที่ผิวหน้าลดลงทำให้บริเวณผิวหน้าคอนกรีตบล็อกมีความหนาแน่นมากขึ้นและเรียบขึ้น คลื่นเสียงจึงสะท้อนออกได้มาก หรือมีการดูดซับได้น้อยลงตามลำดับ

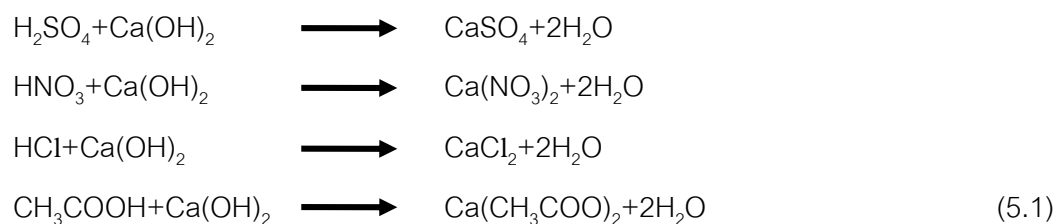
คุณสมบัติความคงทนของคอนกรีตบล็อก ผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าชานอ้อย

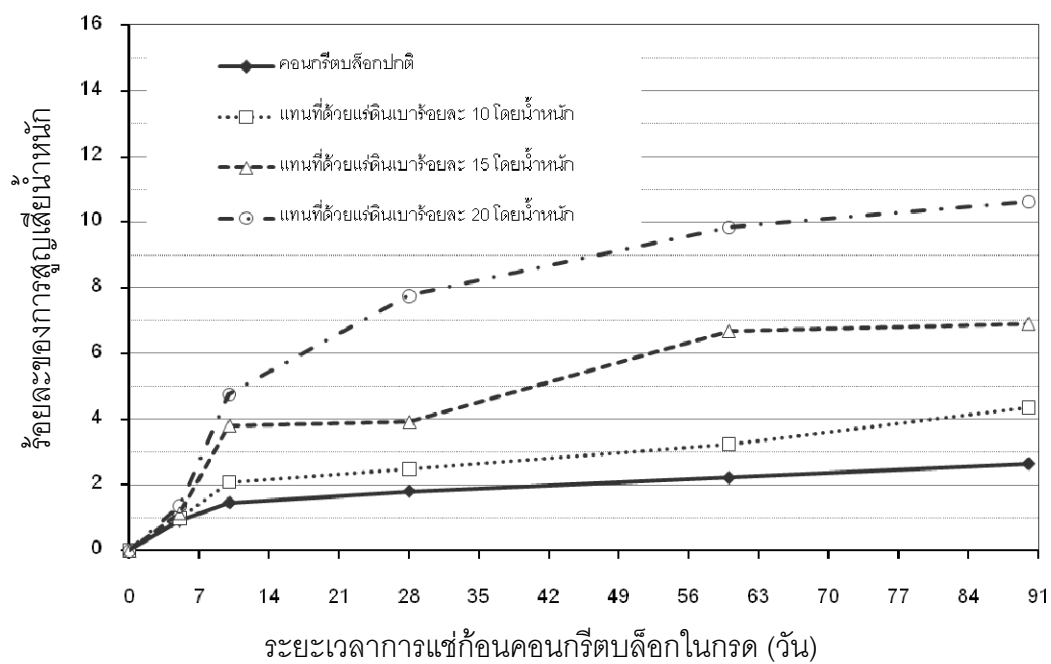
1. ความคงทนต่อสภาวะการกัดกร่อนของกรด

การทดสอบความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากกรดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนของการแทนที่ร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักหินปูนแสดงในภาพที่ 5.16 ถึง 5.23 โดยในการทดสอบดังกล่าวจะทำการแช่ก้อนคอนกรีตบล็อก จำนวน 2 ประเภท คือกรดแก่ประกอบด้วย กรดซัลฟูริก (ภาพที่ 5.16 และ 5.17) กรดไนตริก (ภาพที่ 5.18 และ 5.19) กรดไฮโดรคลอริก (ภาพที่ 5.20 และ 5.21) และกรดอ่อนคือ กรดอะซิติก (ภาพที่ 5.22 และ 5.23) ตามลำดับ โดยพิจารณาผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของกรดในรูปของการสูญเสียน้ำหนัก โดยกำหนดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 1.0 พบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนการแทนที่หินปูนเพิ่มมากขึ้นมีค่าความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดลดต่ำลง ถึงแม้ว่าทั้งแร่ดินเบาและเถ้าชานอ้อยจะมีปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) สูง (โดยแร่ดินเบาและเถ้าชานอ้อยมีปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์ ร้อยละเท่ากับ 57.32 และ 88.60 ตามลำดับ) และสามารถทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ทำให้ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีอยู่ในคอนกรีตบล็อกลดลงได้ แต่จะเห็นว่าความสามารถในการทำปฏิกิริยาของวัสดุทั้งสองมีค่าต่ำมาก โดยพิจารณาจากค่าดัชนีกำลัง (Strength Index) ของแร่ดินเบาที่อายุ 7 และ 28 วัน มีค่าร้อยละ 53.97 และ 67.32 ในขณะที่เถ้าชานอ้อยมีค่าร้อยละ 52.69 และ 52.57 ตามลำดับ ประกอบกับค่าความพรุนของคอนกรีตบล็อกที่เพิ่มขึ้นเมื่อผสมแร่ดินเบาหรือเถ้าชานอ้อย (ภาพที่ 5.8) ซึ่งมีผลทำให้ไอออนของกรดสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาเกิดการกัดกร่อนได้ดียิ่งขึ้น

เนื่องจากการกัดกร่อนโดยสารละลายกรดเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารประกอบแคลเซียมทุกประเภทในคอนกรีตบล็อกให้กลายเป็นเกลือแคลเซียม ดังสมการที่ 5.1 จะเห็นได้อย่างชัดเจนจากรูปกราฟค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของการแช่กรด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีร้อยละการแทนที่ของแร่ดินเบา และเถ้าชานอ้อยเพิ่มสูงขึ้น โดยกรดที่มีการกัดกร่อนรุนแรงสูงสุด คือ กรดอะซิติก (CH_3COOH) และกรดที่มีการกัดกร่อนรุนแรงน้อยที่สุดคือ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เนื่องจากโดยปกติผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของกรดอะซิติก (กรดอ่อน) คือ แคลเซียมอะซิเตทมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อแคลเซียมอะซิเตทละลายน้ำจะทำให้ผิวหน้าของบล็อกสัมผัสกับกรด

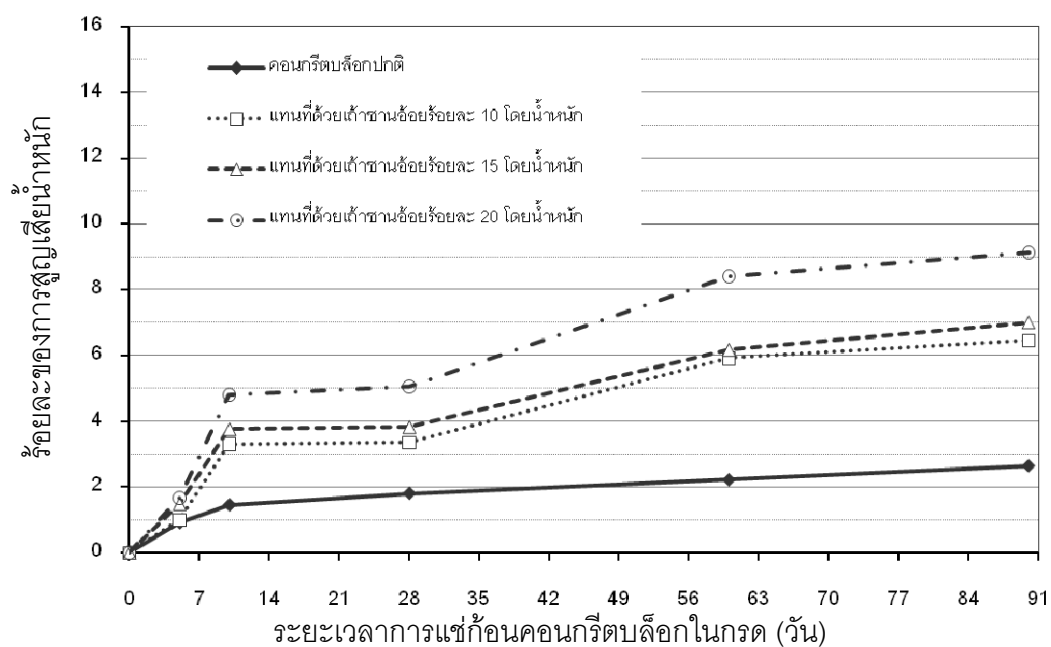
ได้อย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกรดซัลฟูริก (กรดแก่) คือแคลเซียมซัลเฟตมีความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำ ดังนั้นเมื่อแคลเซียมซัลเฟตละลายได้น้อยทำให้เนื้อของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวส่วนใหญ่เกาะอยู่ที่ผิวของคอนกรีตบล็อกซึ่งมีผลให้เนื้อของกรดเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ลดลง ผลก็คือ การสูญเสียน้ำหนักที่ลดลงตามไปด้วย





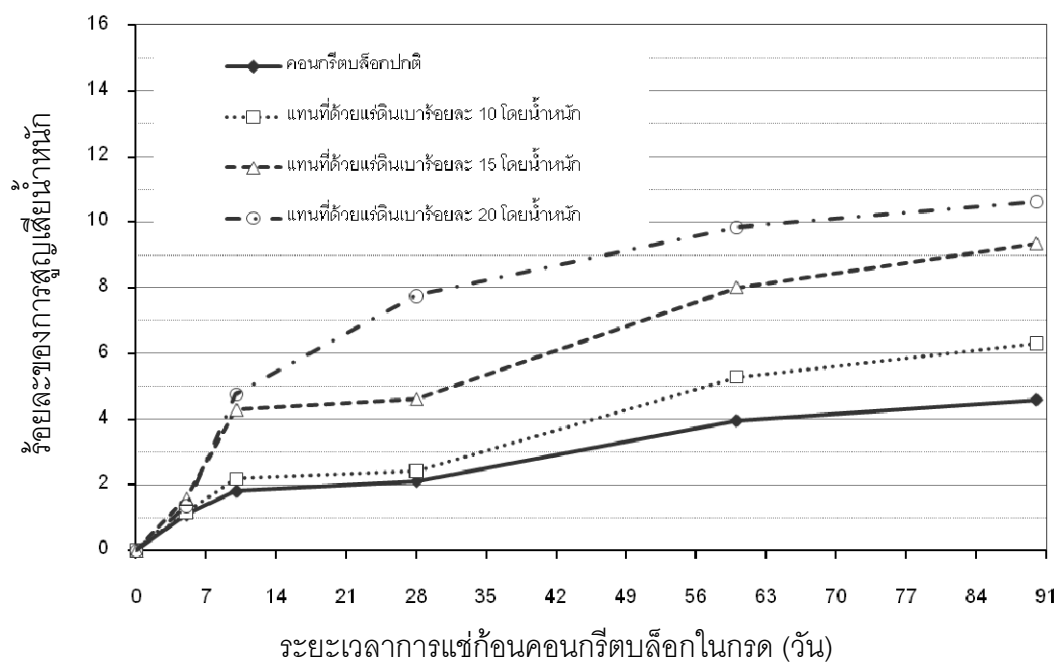
ภาพที่ 5.16

ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมแบริ่งดินเบา
เนื่องจากกรดซัลฟริก



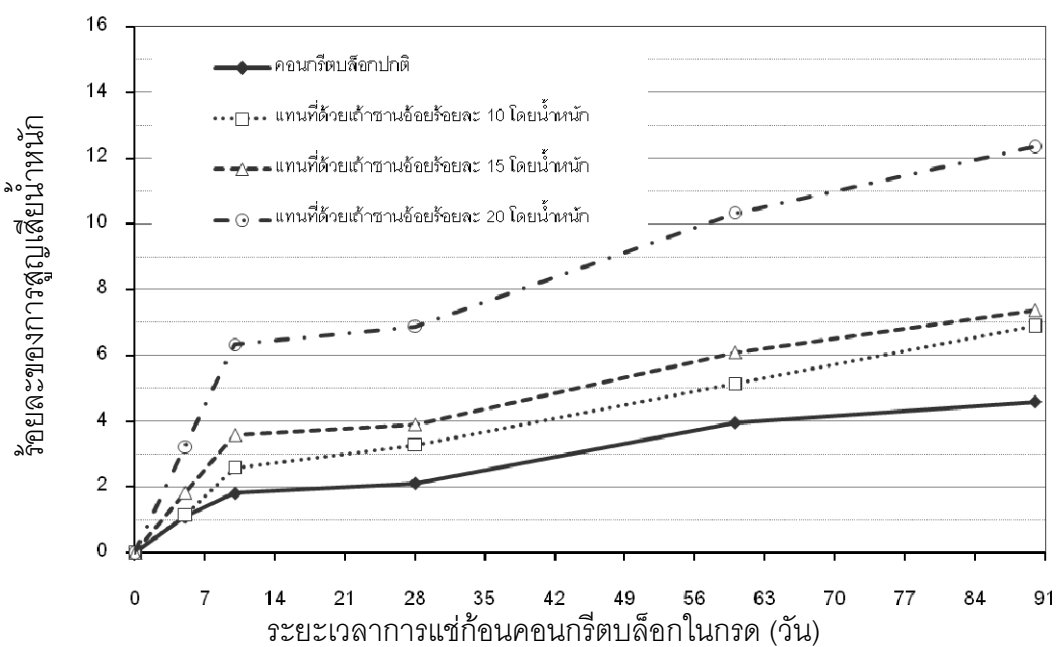
ภาพที่ 5.17

ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมแบริ่งดินเบา
เนื่องจากกรดซัลฟริก



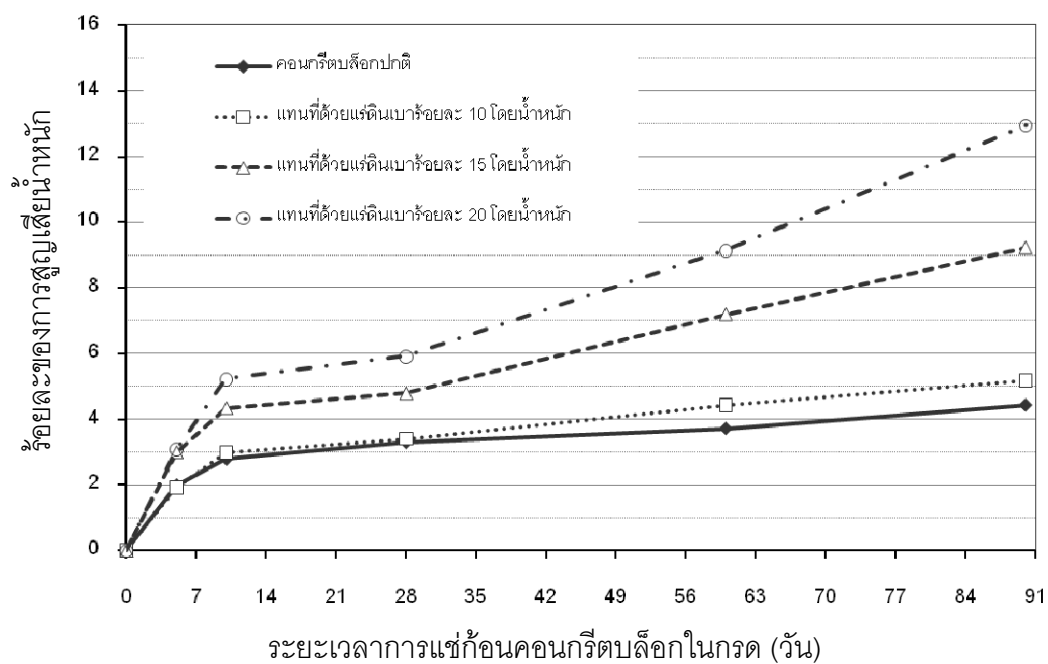
ภาพที่ 5.18

ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา
เนื่องจากกรดไนตริก



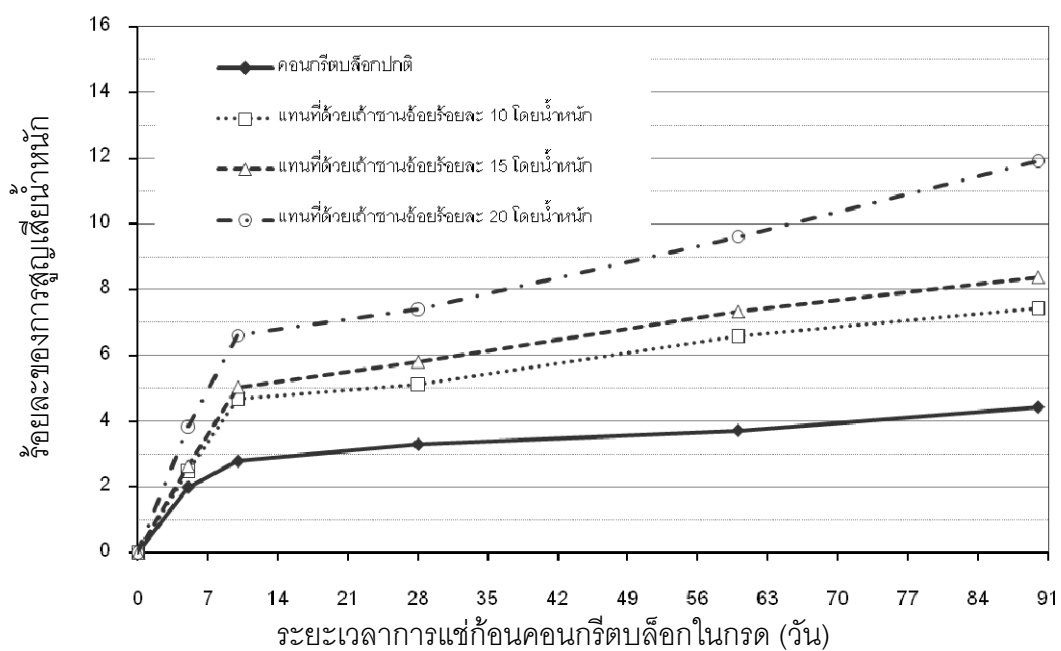
ภาพที่ 5.19

ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อย
เนื่องจากกรดไนตริก



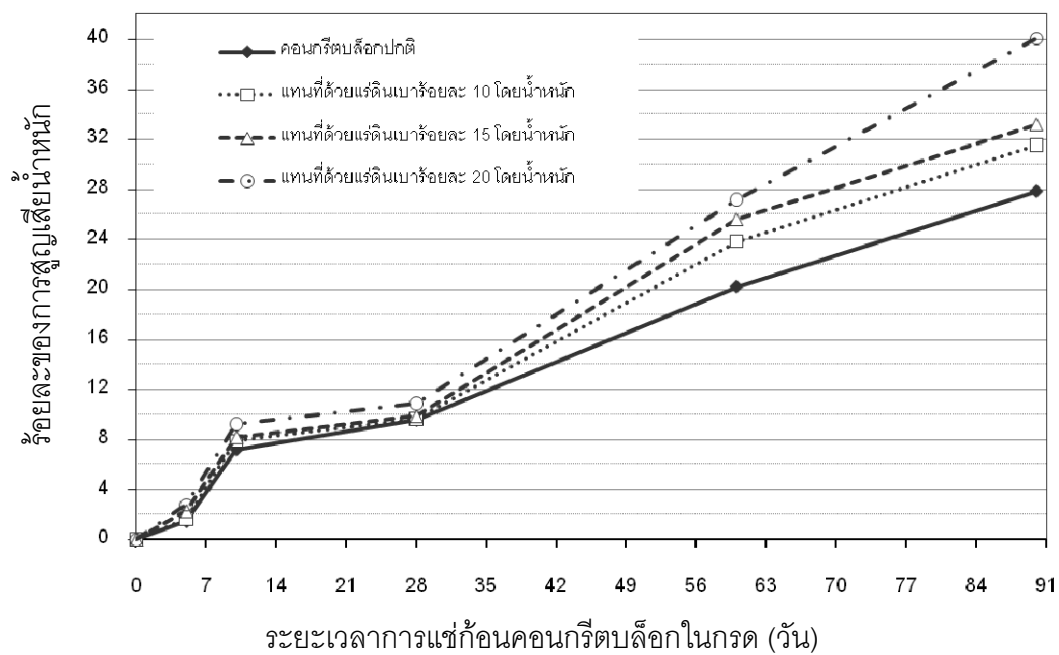
ภาพที่ 5.20

ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอกกรีตบล็อกผสมแตรดินเบา
เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริก



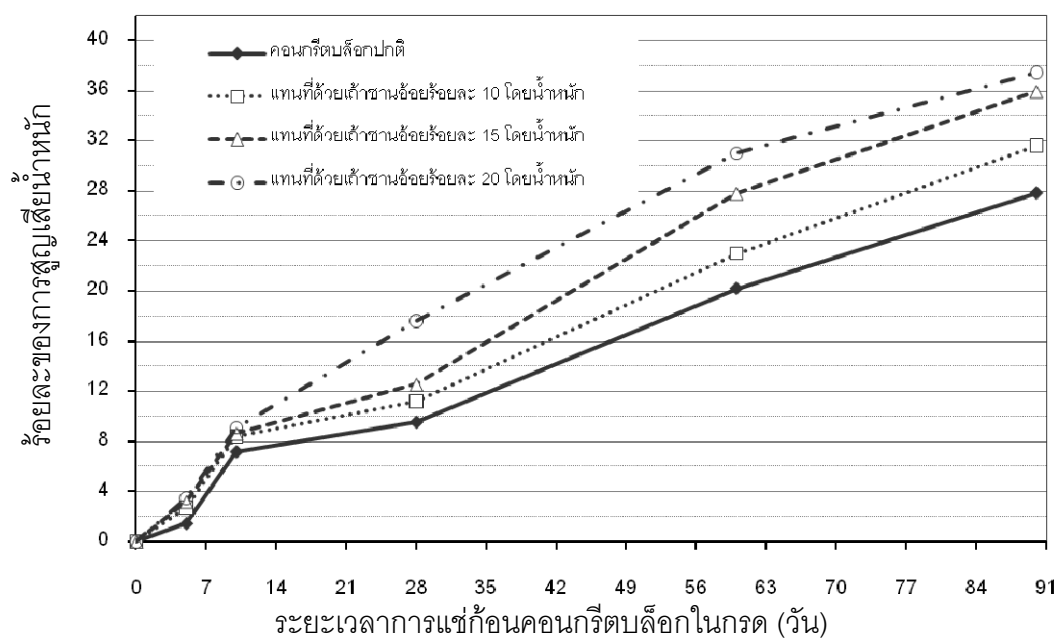
ภาพที่ 5.21

ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอกกรีตบล็อกผสมแตรดินเบา
เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริก



ภาพที่ 5.22

ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา
เนื่องจากกรดอะซิติก

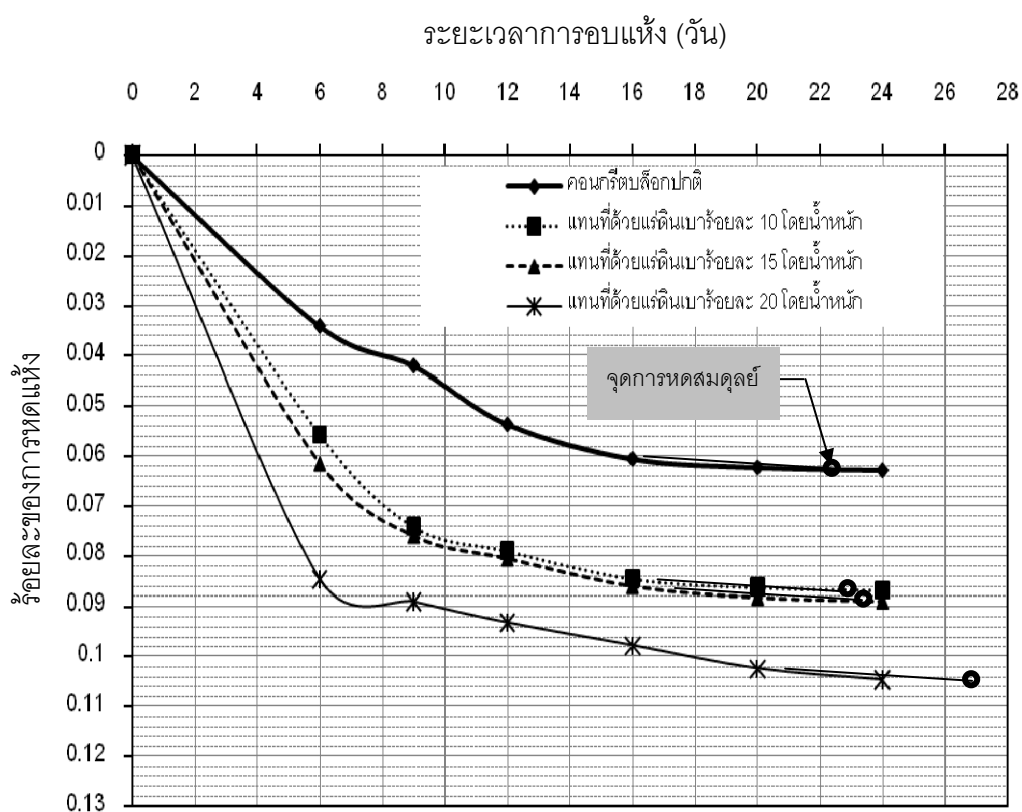


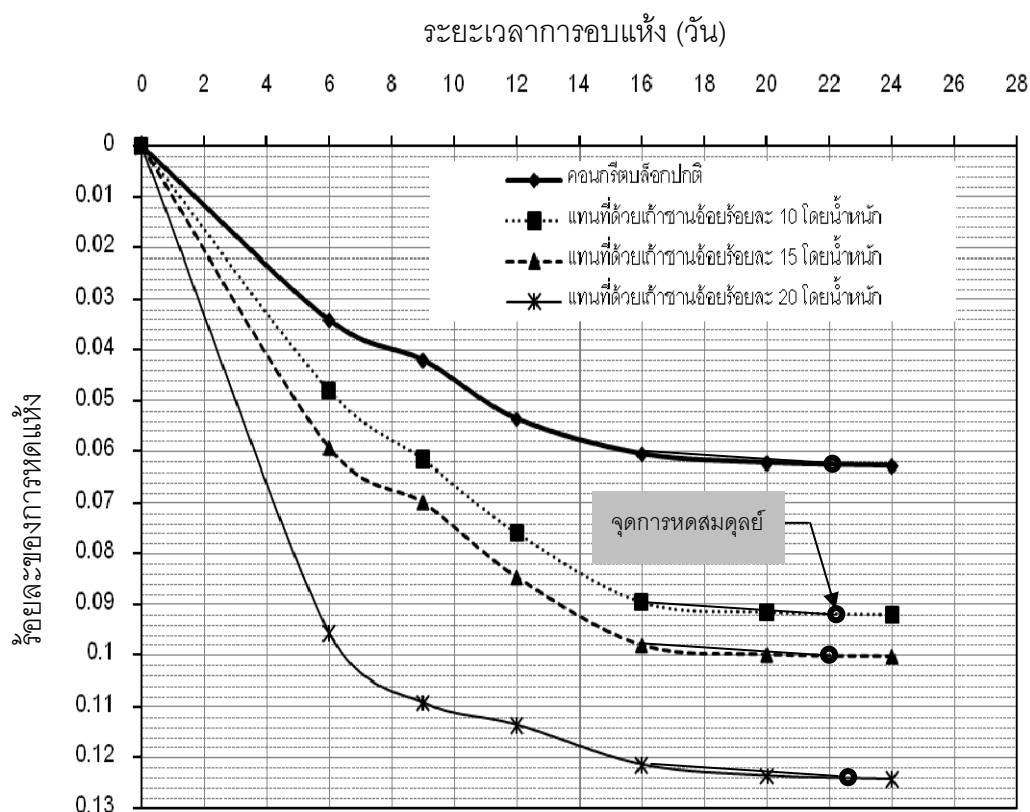
ภาพที่ 5.23

ค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อย
เนื่องจากกรดอะซิติก

2. ความทนทานต่อการหดตัวแบบแห้ง

จากการทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 110-2517 จะได้ผลการทดสอบคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา ตามภาพที่ 5.24 และ คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อย ตามภาพที่ 5.25 ซึ่งการทดสอบชี้ให้เห็นว่าเมื่อมีการทดแทน หินปูนด้วยแร่ดินเบาหรือเถ้าขาน้อย จะทำให้มีการหดตัวแบบแห้งมากขึ้น ตามสัดส่วนที่ทดแทน มากขึ้น และคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าขาน้อยมีค่าการหดตัวแบบแห้งมากกว่าคอนกรีตบล็อก ผสมแร่ดินเบา เมื่อใช้สัดส่วนการแทนที่ที่เท่ากัน อีกประการหนึ่งที่สำคัญของภาพที่ 5.24 และ ภาพที่ 5.25 คือการหาค่าการหดสมดุลย์ ซึ่งได้แสดงค่าตามภาพที่ 5.26 โดยที่ภาวะสมดุลย์ของ การหดของก้อนตัวอย่างเกิดขึ้นเมื่อผลเฉลี่ยความยาวของก้อนตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงเท่ากับ ร้อยละ 0.002 หรือต่ำกว่า ในช่วงเวลาการอบแห้ง 6 วัน

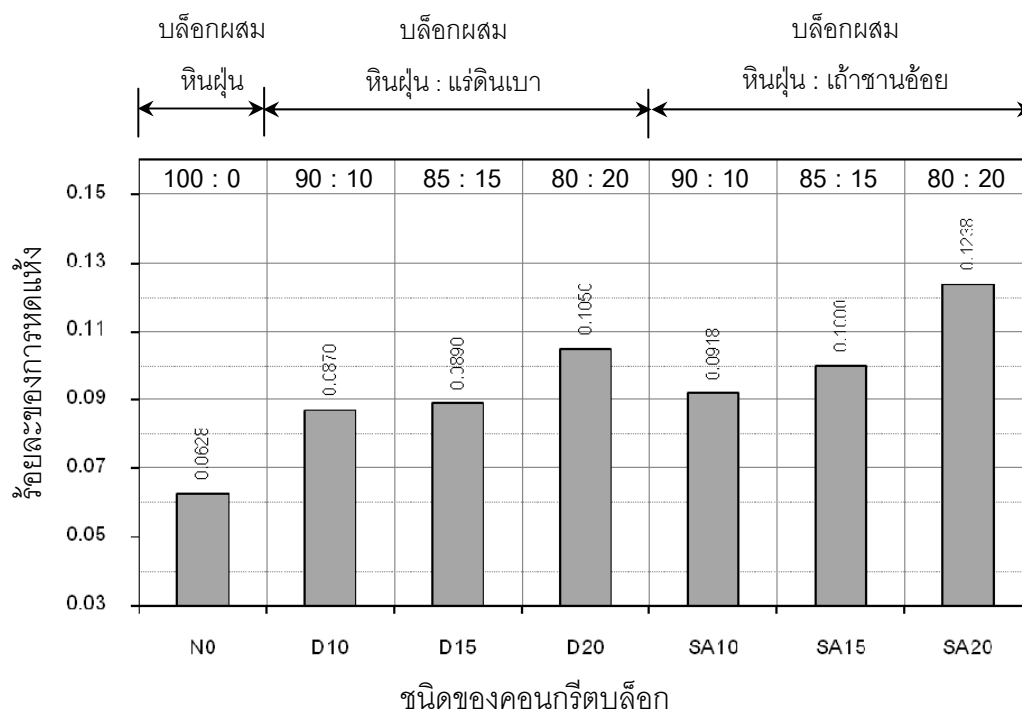




ภาพที่ 5.25

วิธีหาค่าการหดสมดุลย์ของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อย

จากภาพที่ 5.26 ภาวะสมดุลย์ของการหดของก้อนตัวอย่างเกิดขึ้นเมื่อผลเฉลี่ยความยาวของก้อนตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงเท่ากับร้อยละ 0.002 หรือต่ำกว่า ในช่วงเวลาการอบแห้ง 6 วัน ซึ่งภาวะสมดุลย์ที่เกิดขึ้นนี้จะแสดงว่าถ้ามีการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่อไปอีก จะมีการหดตัวน้อยมากจนถือได้ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง ผลทดสอบที่ได้ของคอนกรีตบล็อกปกติ คอนกรีตบล็อกผสมแอสแตมเบาร้อยละ 10, 15, 20 และคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขาน้อยร้อยละ 10, 15, 20 มีค่าร้อยละ 0.0628, 0.0870, 0.0890, 0.1050, 0.0918, 0.1000 และ 0.1238 ตามลำดับ ค่าภาวะสมดุลย์ที่มากขึ้นตามสัดส่วนการแทนที่ ที่เพิ่มขึ้นของวัสดุทั้งสองจะส่งผลกระทบต่อสิ่งอื่น เช่น เมื่อมีการก่อคอนกรีตบล็อกเป็นผนังแล้วมีการฉาบปูนทับหน้า ถ้าคอนกรีตบล็อกมีค่าร้อยละการหดสมดุลย์มากจะทำให้ผนังมีโอกาสเกิดการแตกร้าวมากขึ้น ซึ่งจากผลการทดลอง คอนกรีตบล็อกที่ผสมแอสแตมเบและผสมเถ้าขาน้อย มีค่ามากกว่าคอนกรีตบล็อกปกติที่ผสมหินฝุ่นอย่างเดียว ดังนั้นการนำคอนกรีตบล็อกไปใช้งานต้องคำนึงถึงการหดตัวแบบแห้งด้วย



ภาพที่ 5.26

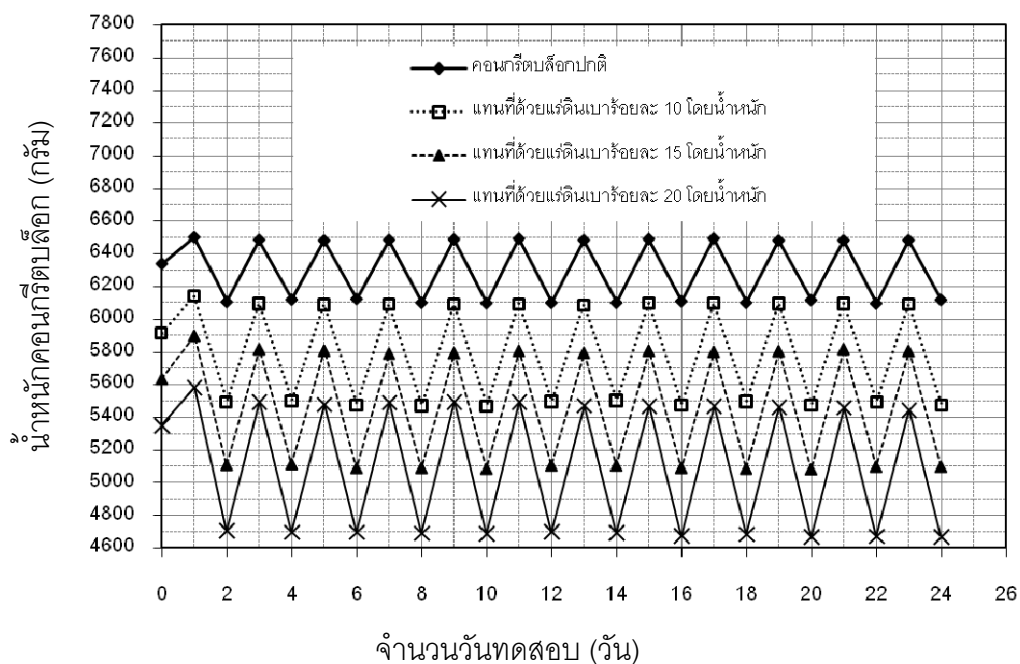
ค่าการหดรตสมดุลย์ของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

3. ความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้ง

การทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งตามมาตรฐาน ASTM D 559 นั้น ได้จำแนกการพิจารณาไว้ 2 ประการ คือ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงความยาว เนื่องจากตัวอย่างทดสอบถูกแช่น้ำ 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง สลับกับการอบ 42 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ทดสอบสลับกันจำนวน 12 รอบ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

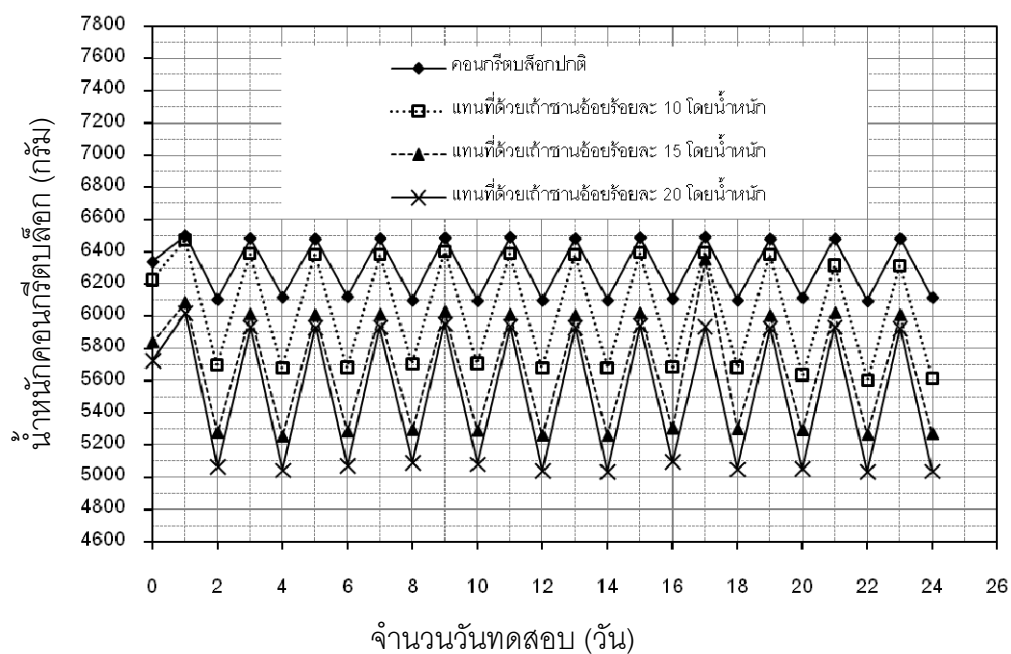
3.1 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางด้านน้ำหนัก

การพิจารณาในรูปแบบการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกต่อสภาพเปียกสลับแห้ง ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อกทุกสัดส่วนผสม มีความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งได้ดี โดยจะเห็นได้จากภาพที่ 27 และภาพที่ 28 ซึ่งน้ำหนักมีการเปลี่ยนแปลงคงที่จนถึงรอบสุดท้ายของการทดสอบ และคอนกรีตบล็อกยังมีสภาพสมบูรณ์เหมือนเดิมก่อนการทดสอบ



ภาพที่ 5.27

น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเรตินเบ้าในสภาพเปียกสลับแห้ง

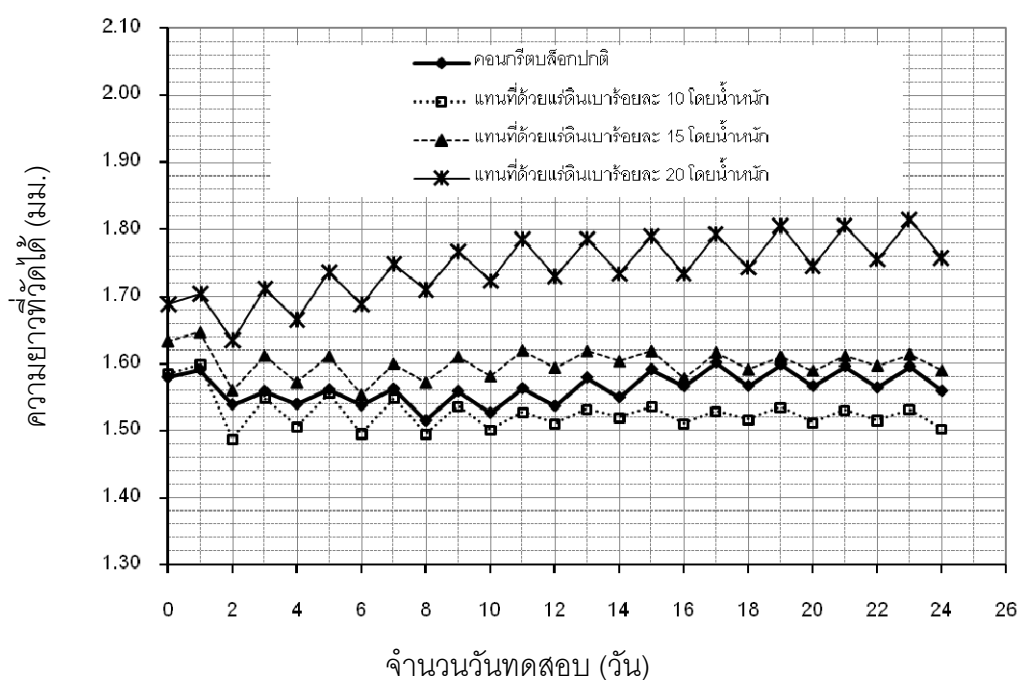


ภาพที่ 5.28

น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเรตินเบ้าในสภาพเปียกสลับแห้ง

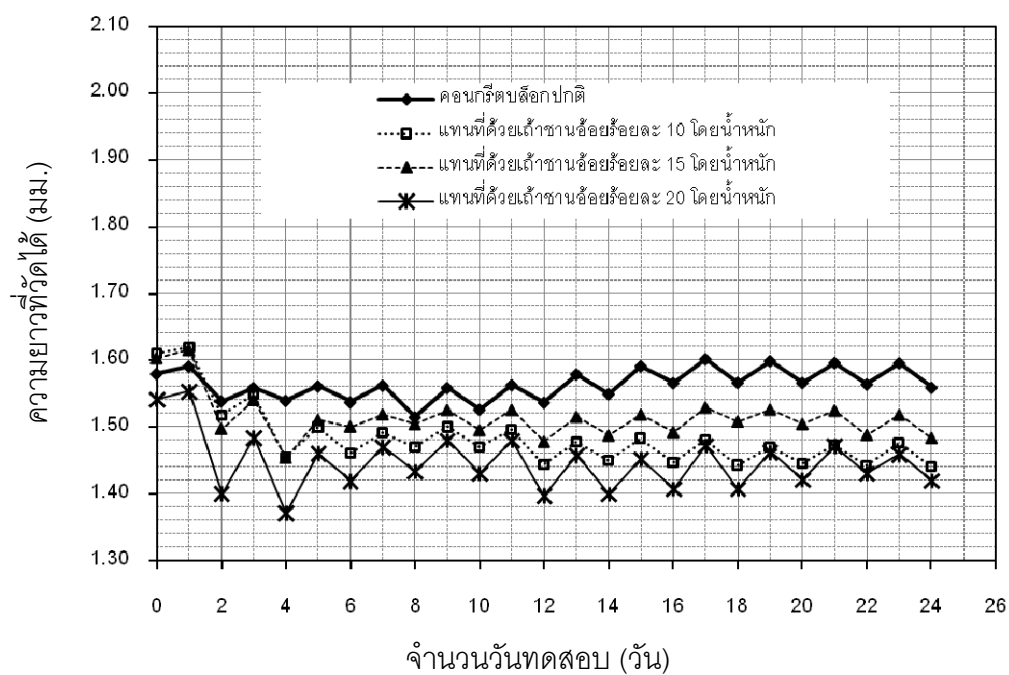
3.2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางด้านความยาว

การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบดบล็อก จะมีการขยายตัวเมื่อถูกแช่ในน้ำ และจะมีการหดตัวเมื่อถูกอบด้วยความร้อน ผลการทดสอบที่ได้ แสดงดังภาพที่ 5.29 และภาพที่ 5.30 ซึ่งจากภาพทั้งสองจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 3 คือตั้งแต่วันเริ่มทดสอบ ถึง 6 วัน มีการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงมาก อันเนื่องมาจากคอนกรีตบดบล็อกยังไม่เคยถูกแรงกระทำจากภายนอกมาก่อน หลังจากรอบที่ 3 จนถึงรอบที่ 12 (24 วัน) มีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยลง และคงที่ อีกประการหนึ่งที่สำคัญคือ สัดส่วนผสมทดแทนหินฝุ่นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ทั้งแร่ดินเบาและเถ้าขานอ้อย จะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงที่ยาวกว่าสัดส่วนอื่นๆ อีกประการหนึ่งที่สังเกตได้จากภาพที่ 5.29 คอนกรีตบดบล็อกผสมแร่ดินเบาร้อยละ 20 จะมีความยาวคงค้างที่เพิ่มขึ้นถึง 0.123 มิลลิเมตร ในขณะที่คอนกรีตบดบล็อกผสมอื่นๆ มีความยาวคงค้างลดลง ซึ่งการนำไปใช้ประโยชน์อาจจะต้องคำนึงถึงผลกระทบนี้ด้วย แต่ทั้งนี้คอนกรีตบดบล็อกทุกสัดส่วนผสมยังอยู่ในสภาพสมบูรณ์เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ



ภาพที่ 5.29

การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบดบล็อกผสมแร่ดินเบา
ในสภาพเปียกสลับแห้ง



ภาพที่ 5.30

การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบล็อกผสมแก๊ซออกซิเจน
ในสภาพเปียกสลับแห้ง

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษาวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ การหาอัตราส่วนการแทนที่หินปูนซึ่งเป็นมวลรวมหลักในการผลิตคอนกรีตบดล็อก ด้วยแร่ดินเบา และเถ้าขานอ้อย ให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 58-2533 อันจะส่งผลให้สามารถผลิตคอนกรีตบดล็อกกลางชนิดไม่รับน้ำหนักประเภทไม่ควบคุมความชื้น ขนาด 70 x 190 x 390 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ได้ตามมาตรฐาน

จากผลการทดสอบ การศึกษาวิจัย และการวิเคราะห์ผล สรุปรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

1. องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ ของแร่ดินเบาและเถ้าขานอ้อย

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินเบา และเถ้าขานอ้อย พบว่าองค์ประกอบหลักของแร่ดินเบา และเถ้าขานอ้อยเป็นซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) โดยมีค่าร้อยละโดยมวลเท่ากับ 57.32 และ 88.60 ตามลำดับ นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ในแร่ดินเบาที่สูงกว่าเถ้าขานอ้อยซึ่งมีส่วนต่อการเกาะยึดของมวลรวม และไม่มีเสถียรภาพของวัสดุผสม

สำหรับผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินเบา และเถ้าขานอ้อย เมื่อพิจารณาคูณสมบัติด้านการพัฒนากำลังอัดเบื้องต้น ดัชนีกำลังเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุมพบว่าทั้งอายุ 7 และ 28 วัน ดัชนีกำลังของแร่ดินเบาที่มีค่าร้อยละ 53.97 และ 67.32 ในขณะที่เถ้าขานอ้อยมีค่าร้อยละ 52.69 และ 52.57 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน American Society for Testing and Materials ASTM 618 ที่กำหนดอัตราการพัฒนาดัชนีกำลังไว้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 75 ดังนั้นแนวทางการใช้งาน คือการนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของมวลรวมในการขึ้นรูปคอนกรีตบดล็อก ตัวแปรที่ต้องนำมาพิจารณาต่อไปคือ ความต้องการน้ำ เนื่องจากเป็นปัจจัยต่อการพัฒนากำลังของคอนกรีตบดล็อก จากผลการทดสอบยังพบว่าแร่ดินเบามีความต้องการน้ำสูงถึงร้อยละ 144.63 สูงกว่าเถ้าขานอ้อยที่มีเพียงร้อยละ 110.74 ทั้งนี้เหตุผลประการหนึ่งที่ทำให้แร่ดินเบามีความต้องการสูงก็เนื่องมาจากความละเอียด และขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก

(ความละเอียดค่าองศาสมบนตะแกรงเบอร์ 325 ของแร่ดินเบา และเถ้าชานอ้อย เท่ากับร้อยละ 40.46 และ 66.06 ตามลำดับ) ทำให้ต้องการปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้องปรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้แนวโน้มการรับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกต่ำลง

2. คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา และผสมเถ้าชานอ้อย

คอนกรีตบล็อกปกติทั่วไปใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมทั้งหมด ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำแร่ดินเบา (Diatomite) และเถ้าชานอ้อย (Sugarcane Bagasse Ash) มาเป็นวัสดุมวลรวม (Aggregates) ทดแทนหินฝุ่นเพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา และผสมเถ้าชานอ้อย ในอัตราส่วนการแทนที่โดยน้ำหนักของหินฝุ่นร้อยละ 10, 15 และ 20 ตามลำดับ แล้วทำการทดสอบ

พบการลดลงของค่าหน่วยน้ำหนัก สาเหตุสำคัญของการลดลงดังกล่าวมาจากค่าความถ่วงจำเพาะของแร่ดินเบา และเถ้าชานอ้อยซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.12 และ 1.80 ตามลำดับ ต่ำกว่าหินฝุ่นซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.63 เมื่อทำการแทนที่แร่ดินเบา หรือเถ้าชานอ้อย ในหินฝุ่นร้อยละ 20 จะทำให้น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกลดลงเกือบหนึ่งในสี่ของบล็อกผสมหินฝุ่นอย่างเดียว แต่ปริมาณการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นประมาณสามเท่าซึ่งสอดคล้องกับค่าความพรุนของคอนกรีตบล็อกที่เพิ่มขึ้น

ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา และผสมเถ้าชานอ้อย มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปกติ และมีค่าลดลงตามลำดับเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของวัสดุทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตบล็อกปกติมีค่าถึง 1.124 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ในขณะที่เมื่อใช้แร่ดินเบา หรือเถ้าชานอ้อยแทนที่ในหินฝุ่นร้อยละ 20 มีค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 0.384 และ 0.579 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ตามลำดับ ซึ่งหมายถึง ความพรุนของคอนกรีตบล็อกที่เพิ่มขึ้นทำให้ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านที่ว่างภายในได้น้อยกว่า

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกปกติที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 41.32 กก./ตร.ซม. ในขณะที่การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบาพบว่า การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกลดต่ำลงเมื่อการแทนที่แร่ดินเบาเพิ่มมากขึ้น จากการเปรียบเทียบกำลังอัดที่อายุ 28 วัน คอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา มีกำลังอัดเพียงร้อยละ 62.37, 19.74 และ 16.23 ของคอนกรีตบล็อกปกติ ที่อัตราส่วนการแทนที่แร่ดินเบาเท่ากับร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของหินฝุ่น ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัด ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนดค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 25.0 กก./ตร.ซม. จะมีเพียงอัตราส่วนผสม

แร่ดินเบาร้อยละ 10 อายุการบ่ม 28 วัน มีกำลังอัดเท่ากับ 25.77 กก./ตร.ซม. ที่เกินกว่าค่ามาตรฐาน ในทำนองเดียวกันการใช้เถ้าขานอ้อยทดแทนหินฝุ่นมีผลทำให้การพัฒนากำลังของคอนกรีตบล็อกต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปกติ เมื่อพิจารณากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 28 วัน จะเห็นว่ากำลังของบล็อกที่ได้ มีค่าร้อยละ 66.80, 61.28 และ 61.17 ของคอนกรีตบล็อกปกติ เมื่อใช้เถ้าขานอ้อยแทนที่ในหินฝุ่นร้อยละ 10, 15 และ 20 ตามลำดับ เมื่อใช้มาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเป็นเกณฑ์จะสามารถใช้เถ้าขานอ้อยแทนที่ในหินฝุ่นได้ถึงร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 25.27 กก./ตร.ซม.

การดูดซับเสียงสำหรับอิทธิพลของการใช้แร่ดินเบาแทนที่ในหินฝุ่นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมีค่าเพิ่มขึ้น มากกว่าคอนกรีตบล็อกปกติ เนื่องจากระดับความพรุนที่ผิวหน้าของบล็อกเพิ่มขึ้น ในขณะที่การแทนที่เถ้าขานอ้อยในหินฝุ่นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก กลับให้ผลที่ลดค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงลดลงน้อยกว่าบล็อกปกติ อันเนื่องจากระดับความพรุนที่ผิวหน้าของบล็อกน้อยลง แต่ยังคงให้แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับบล็อกปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบมวลรวมหลักของบล็อกยังคงเป็นหินฝุ่น

การทดสอบความทนทาน ในการต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากกรดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมแร่ดินเบาหรือเถ้าขานอ้อย ในอัตราส่วนของการแทนที่ร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของหินฝุ่น พบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมแร่ดินเบาและผสมเถ้าขานอ้อย ในอัตราส่วนการแทนที่หินฝุ่นเพิ่มมากขึ้นมีค่าความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดลดต่ำลง ส่วนการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าขานอ้อยมีค่าการหดตัวแบบแห้งมากกว่าคอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบา เมื่อใช้สัดส่วนการแทนที่ ที่เท่ากัน ผลทดสอบภาวะสมดุลย์ของการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกปกติ คอนกรีตบล็อกผสมแร่ดินเบาร้อยละ 10, 15, 20 และคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 10, 15, 20 มีค่าร้อยละ 0.0620, 0.0870, 0.0890, 0.1050, 0.0918, 0.1000 และ 0.1238 ตามลำดับ ซึ่งคอนกรีตบล็อกปกติที่ผสมหินฝุ่นอย่างเดียวมีภาวะสมดุลย์ของการหดตัวน้อยที่สุด ความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งเมื่อพิจารณาในรูปแบบการสูญเสียน้ำหนักผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อกทุกสัดส่วนผสม มีความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งได้ดี ส่วนการเปลี่ยนแปลงความยาวในช่วงแรกมีการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงมาก อันเนื่องมาจากคอนกรีตบล็อกยังไม่เคยถูกแรงกระทำจากภายนอกมาก่อน หลังจากรอบที่ 3 (6 วัน) จนถึงรอบที่ 12 (24 วัน) มีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยลง แต่ทั้งนี้คอนกรีตบล็อกทุกสัดส่วนผสมยังอยู่ในสภาพสมบูรณ์เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ

3. แนวทางการประยุกต์ใช้แร่ดินเบาและเถ้าชานอ้อย ทดแทนหินฝุ่นในการผลิตคอนกรีตบล็อก

เมื่อพิจารณาตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 เป็นเกณฑ์ จะสามารถผลิตคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักประเภทไม่ควบคุมความชื้นได้ โดยใช้อัตราส่วนสูงสุดของแร่ดินเบาแทนที่ได้ร้อยละ 10 และเถ้าชานอ้อยแทนที่ได้ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของหินฝุ่น ซึ่งมีกำลังอัดเกิน 25 กก./ตร.ซม. แต่ต้องคำนึงถึง การดูดซึมน้ำ ความคงทนต่อการรด และการหดแห้ง จะมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าคอนกรีตบล็อกปกติที่ผสมหินฝุ่นเพียงอย่างเดียว ในทางกลับกันคอนกรีตบล็อกที่ผสมแร่ดินเบา หรือผสมเถ้าชานอ้อย จะมีหน่วยน้ำหนัก และการนำความร้อน มีค่าลดลง ส่วนการดูดซับเสียงของคอนกรีตบล็อกที่ผสมแร่ดินเบาจะดูดซับเสียงได้มากกว่า และคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าชานอ้อยจะดูดซับเสียงได้น้อยกว่า คอนกรีตบล็อกที่ผสมหินฝุ่นเพียงอย่างเดียว เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาจึงสรุปผลการทดลองที่สำคัญไว้ในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1

สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

ลำดับ ที่	คุณสมบัติที่ทำการทดสอบ	สรุปผลการทดสอบคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ							หน่วย
		แทนที่หินปูนด้วย แร่ดินเบา				แทนที่หินปูนด้วย เถ้าขาน้อย			
		0	10	15	20	10	15	20	
1	หน่วยน้ำหนัก	2121	1883	1683	1621	1721	1627	1614	กก./ลบ.ม
2	การดูดซึมน้ำ	8.18	12.37	20.80	20.70	20.80	23.72	24.15	ร้อยละ
3	ความพรุน	7.23	11.49	18.73	23.11	10.69	19.33	23.12	ร้อยละ
4	การนำความร้อน	1.124	0.762	0.509	0.384	0.674	0.626	0.579	วัตต์/ม.เคลวิน
5	กำลังรับแรงอัด ที่อายุ 28 วัน	41.32	25.77	8.16	6.71	27.60	25.32	25.27	กก./ตร.ซม.
6	ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (NRC)	0.12	0.20	-	-	-	-	0.07	ค่าสัมประสิทธิ์
7	ความคงทนต่อสภาวะการกัดกร่อนของ								ร้อยละ
	กรดซัลฟูริก	2.64	4.36	6.90	10.62	6.45	7.01	9.13	ที่ 90 วัน
	กรดไนตริก	4.60	6.30	9.35	13.57	6.90	7.37	12.36	ที่ 90 วัน
	กรดไฮโดรคลอริก	4.43	5.18	9.23	12.94	7.44	8.39	11.93	ที่ 90 วัน
	กรดอะซิติก	27.84	31.55	33.18	40.07	31.63	35.95	37.49	ที่ 90 วัน
8	การหดตัวแบบแห้ง (ภาวะสมดุลย์)	0.0628	0.0870	0.0890	0.1050	0.0918	0.1000	0.1238	ร้อยละ
9	ความคงทนต่อสภาวะเปียกสลับแห้ง (การเปลี่ยนแปลงรอบสุดท้าย)	364.4	614.2	707.6	778.6	699.8	735.2	887.5	น้ำหนัก (กรัม)
		0.037	0.028	0.024	0.056	0.035	0.034	0.040	ความยาว (มม.)
สรุปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ มอก. 58-2533		ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	เปรียบเทียบ

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติของวัสดุแร่ดินเบา เถ้าชานอ้อย และหินฝุ่น ซึ่งเป็นมวลรวมเพื่อที่จะผลิตคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนักประเภทไม่ควบคุมความชื้น ขนาด $70 \times 190 \times 390$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร ซึ่งยังมีสิ่งที่จะต้องปรับปรุงและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น ดังต่อไปนี้

1. สิ่งที่ต้องปรับปรุง

- 1.1 การทำสัญลักษณ์คอนกรีตบล็อกที่ผลิตให้เห็นเด่นชัดเพราะผลิตเป็นจำนวนมาก
- 1.2 ต้องระมัดระวังในการขนส่งจะทำให้คอนกรีตบล็อกแตกหักได้
- 1.3 ต้องผลิตคอนกรีตบล็อกเผื่อไว้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10
- 1.4 ควรจัดหาผู้อบคอนกรีตบล็อกให้เพียงพอกับการทดสอบ
- 1.5 ควรจะทำการทดสอบหาคุณสมบัติการดูดซับเสียงและการกันเสียง ทุกอัตราส่วนที่ใช้ผสมทำคอนกรีตบล็อก

2. การพัฒนาการวิจัย

- 2.1 ค้นหาวัสดุที่น่าสนใจมาปรับใช้กับการผลิตคอนกรีตบล็อก
- 2.2 ค้นหาส่วนผสมเพิ่มเพื่อเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่หินฝุ่นได้มากขึ้น แต่ยังได้ผลผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
- 2.3 นำวัสดุแร่ดินเบาและเถ้าชานอ้อย ไปทดลองผลิตในรูปแบบและผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น คอนกรีตบล็อกสำหรับปูถนนและทางเท้า ท่อระบายน้ำ และทำเป็นฉนวนกันความร้อน เป็นต้น
- 2.4 นำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นแนวทาง และฐานข้อมูล เพื่อการศึกษาต่อไป

บรรณานุกรม

กรมทรัพยากรธรณี. (ธันวาคม 2542). ดินเบา. วารสารเศรษฐธรณีวิทยา ปีที่ 1 ฉบับที่ 12.

ชูชัย สุจิรวงศ์. (2549). การนำเถ้าขานอ้อยมาใช้แทนที่ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์. (งานวิจัยภาควิทยาศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. (2537). คอนกรีตเทคโนโลยี (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร.

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร และคณะ. (2543). คู่มือการทดสอบ หิน ทราวย และคอนกรีต (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร.

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ. (2545). การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย. (งานวิจัยภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตศาลายา)

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ. (2545). เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยกับคอนกรีตธรรมดา. (งานวิจัยภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตศาลายา)

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, จักรพันธุ์ วงษ์พา และ สุรพันธ์ สุคันธปรีย์. (2545). การพัฒนาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้เพื่อใช้ในงานคอนกรีต (น.163-172). เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8.

ชัยวัฒน์ มั่นเจริญ. (มีนาคม - เมษายน 2549). การใช้ประโยชน์และนโยบายการส่งเสริมพลังงานชีวมวลในประเทศไทย (น.22-25). วิศวกรรมสาร ปีที่ 59 ฉบับที่ 2.

ณัฐพล เกตุโกมล, พรทิพย์ เสน่หา และ อรรถพล อินทรศร. (2549). การศึกษา กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อย. (ปริญญานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ).

นรพงศ์ ศรีสวัสดิ์, พุฒิพล ยวบศรีพันธุ์ และ รัณภฏ มั่งคั่ง. (2547). คอนกรีต บล็อกมวลเบาผสมขี้เถ้าโพดเผา. (ปริญญานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ).

บุรฉัตร ชัตรวิระ และคณะ. (2548). ผลของแร่ดินเบาที่มีต่อคุณสมบัติของมอร์ตาร์. (งานวิจัยภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).

บัณฑิต รักษาดี. (2548). การใช้เถ้าแกลบไม่บดในการผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่ รับน้ำหนัก. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).

ภัทรจิตรา รัตตฐ, รณภพ ประพุดิเกษม และ วุฒิ นิยมทรัพย์. (2543). คอนกรีต บล็อกผสมขี้เถ้า. (ปริญญานิพนธ์ สาขาเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ).

กรพนา บุญมา และคณะ. (2548). สมบัติทางฟิสิกส์บางประการของคอนกรีต บล็อกแบบกลวงที่ผสมเส้นใยกากปาล์มน้ำมันและผสมเส้นใยขาน้อย. (งานวิจัย ศูนย์วิจัยและ สาธิตระบบพลังงานทดแทน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดชุมพร).

วีระ อำนวยพร. (2543). อิทธิพลของเถ้าแกลบที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของอิฐ. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต).

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2517). วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบ วัสดุก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต มอก.109-2517 (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: กระทรวง อุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2526). วิธีทดสอบการหดแห้งของ คอนกรีตบล็อก มอก.110-2517 (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2533). คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มอก.58-2533 (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1619). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). มวลรวมผสมคอนกรีต มอก. 566-2528 (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก.15 เล่ม1-2547 (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.

สุวิมล สัจจาณิชย์. (2545). อิฐบล็อกจากเถ้าขาน้อย. (งานวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).

อานนท์ เต็มสงสัย. (2546). การศึกษาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าขาน้อย. (ปริญญานิพนธ์ สาขาวิชาโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).

Al-Ghouti, M.A. and Khraisheh, M.A.M. (2003). The removals of dyes from textile wastewater : a study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth. (pp.229 – 238). Journal of Environmental Management 69.

ASTM Committee (1976). ASTM D 559-82 Standard Method for Wetting-and-Drying Test of Compacted Soil-Cement Mixture. Annual Book of ASTM Standard Philadelphia USA.

ASTM Committee. (1976). ASTM C 423-02 Standard Method for Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room. Annual Book of ASTM Standard West Conshohochen USA.

ASTM Committee. (2003). ASTM C29/C29M-97 Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate. Annual Book of ASTM Standard West Conshohochen USA.

ASTM Committee. (2005). ASTM C20-00 Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water. Annual Book of ASTM Standard West Conshohochen USA.

Fragoulis, D. and Stamatakis, M.G. (2005). The physical and mechanical properties of composite cements manufactured with calcareous and clayey Greek diatomite mixtures (pp.205-209). Cement and Concrete Composites 27

Japanese Standards Association. (1992). JIS R 2618 Testing method for thermal conductivity of insulating fire bricks by hot wire. Japanese Industrial Standard Japan.

Lakho S.M. (1980). Production of Reactive Rice Husk Ash and Its Application in Pressed Soil-cement Block. (M.Eng. Thesis No.ST-80-14 ,A.I.T., Bangkok).

Majeda A.M.Khraiseh and Yahya S.Al-degs. (2004). Remediation of wastewater containing heavy metals using raw and modified diatomite (pp.177-184). Chemical Engineering Journal 99.

Martirema Hernandez, J.F. and Middendorf, B. (1998). Use of waster of the sugar industry as pozzolana in lime-pozzolama binders(Vol.28, No.11, pp.1525-1536). Cement and Concrete Research.

Paul T.K. (2003). Potential of Using Rice-straw and Rice-husk ash as Liming Materials in Agriculture. (M.Eng. Thesis No.AQ-03-27, A.I.T., Bangkok).

Singh, N.B., Singh, V.D. and Sarita Rai. (2000). Hydration of baggasse ash-blended portland cenent (pp.1485-1488). Cement and Concrete Research 30.

Vasconcelos, P.V. and Labrincha, J.A. (2000) Permeability of diatomite layers processed by different colloidal techniques (p.201-207). Journal of the European Ceramic Society 20.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การกระจายขนาดคละของมวลรวมและสัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก.1

ขนาดคละมาตรฐานของมวลรวมละเอียด(ไซน I มอก. 566-2528)

ขนาดตะแกรงร่อน เบอร์ (มม.)	ส่วนที่ผ่านตะแกรง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	
	ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
# 4 (4.75)	90	100
# 8 (2.36)	60	95
# 16 (1.18)	30	70
# 30 (0.60)	15	34
# 50 (0.30)	5	20
# 100 (0.15)	0	20

ตารางที่ ก.2

ผลการทดสอบการหาขนาดคละของหินฝุ่น

ขนาดตะแกรง ร่อน เบอร์ (มม.)	ทดสอบครั้งที่ 1			ทดสอบครั้งที่ 2			เฉลี่ย ผ่าน ตะแกรง ร่อน (ร้อยละ)
	ค้ำ	ผ่าน	ผ่าน	ค้ำ	ผ่าน	ผ่าน	
	ตะแกรง	ตะแกรง	ตะแกรง	ตะแกรง	ตะแกรง	ตะแกรง	
	ร่อน (กรัม)	ร่อน (กรัม)	ร่อน (ร้อยละ)	ร่อน (กรัม)	ร่อน (กรัม)	ร่อน (ร้อยละ)	
# 4 (4.75)	34.2	965.8	96.58	42.5	957.5	95.75	96.17
# 8 (2.36)	260.9	704.9	70.49	314.0	643.5	64.35	67.42
# 16 (1.18)	245.6	459.3	45.93	246.9	396.6	39.66	42.80
# 30 (0.60)	168.6	290.7	29.07	151.8	244.8	24.48	26.78
# 50 (0.30)	97.6	193.1	19.31	81.6	163.2	16.32	17.82
# 100 (0.15)	63.8	129.3	12.93	52.4	110.8	11.08	12.01
# 200 (0.075)	36.1	93.2	9.32	31.2	79.6	7.96	8.64

ตารางที่ ก.3

ผลการทดสอบการหาขนาดคละของแร่ดินเบา

ขนาดตะแกรง ร่อน เบอร์ (มม.)	ทดสอบครั้งที่ 1			ทดสอบครั้งที่ 2			เฉลี่ย ผ่าน ตะแกรง ร่อน (ร้อยละ)
	ค้ำ	ผ่าน	ผ่าน	ค้ำ	ผ่าน	ผ่าน	
	ตะแกรง ร่อน (กรัม)	ตะแกรง ร่อน (กรัม)	ตะแกรง ร่อน (ร้อยละ)	ตะแกรง ร่อน (กรัม)	ตะแกรง ร่อน (กรัม)	ตะแกรง ร่อน (ร้อยละ)	
# 4 (4.75)	0.2	399.8	99.95	0.5	398.4	99.60	99.78
# 8 (2.36)	0.5	399.3	99.83	0.4	398.0	99.50	99.66
# 16 (1.18)	0.3	399.0	99.75	0.4	397.6	99.40	99.58
# 30 (0.60)	2.2	396.8	99.20	2.8	394.8	98.70	98.95
# 50 (0.30)	14.3	382.5	95.63	15.4	379.4	94.85	95.24
# 100 (0.15)	31.1	351.4	87.85	31.7	347.7	86.93	87.39
# 200 (0.075)	54.9	296.5	74.13	53.7	294.0	73.50	73.81

ตารางที่ ก.4

ผลการทดสอบการหาขนาดคละของเถ้าขาน้อย

ขนาดตะแกรง ร่อน เบอร์ (มม.)	ทดสอบครั้งที่ 1			ทดสอบครั้งที่ 2			เฉลี่ย ผ่าน ตะแกรง ร่อน (ร้อยละ)
	ค้ำ	ผ่าน	ผ่าน	ค้ำ	ผ่าน	ผ่าน	
	ตะแกรง ร่อน (กรัม)	ตะแกรง ร่อน (กรัม)	ตะแกรง ร่อน (ร้อยละ)	ตะแกรง ร่อน (กรัม)	ตะแกรง ร่อน (กรัม)	ตะแกรง ร่อน (ร้อยละ)	
# 4 (4.75)	0.1	399.9	99.98	0.1	399.9	99.98	99.98
# 8 (2.36)	0.7	399.2	99.80	0.6	399.3	99.83	99.81
# 16 (1.18)	1.9	397.3	99.33	1.8	397.5	99.38	99.35
# 30 (0.60)	8.9	388.4	97.10	8.9	388.6	97.15	97.13
# 50 (0.30)	37.8	350.6	87.65	38.2	350.4	87.60	87.63
# 100 (0.15)	86.8	263.8	65.95	82.3	268.1	67.03	66.49
# 200 (0.075)	109.3	154.5	38.63	102.2	165.9	41.48	40.05

ตารางที่ ก.5

ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) ของวัสดุ

ขนาดตะแกรงร่อน เบอร์ (มม.)	แรดินเบา	เถ้าขาน้อย	หินฝุ่น
	ค้ำตะแกรงร่อนสะสม (ร้อยละ)	ค้ำตะแกรงร่อนสะสม (ร้อยละ)	ค้ำตะแกรงร่อนสะสม (ร้อยละ)
# 3/8"(9.50)	0.14	0.00	0.00
# 4 (4.75)	0.22	0.03	3.84
# 8 (2.36)	0.34	0.19	32.58
# 16 (1.18)	0.42	0.65	57.21
# 30 (0.60)	1.05	2.88	73.23
# 50 (0.30)	4.76	12.38	82.19
# 100 (0.15)	12.61	33.51	88.00
ผลรวมค้ำตะแกรง ร่อนสะสม(ร้อยละ)	19.55	49.63	337.03
ค่าโมดูลัส ความละเอียด (F.M.)	0.20	0.50	3.37

หมายเหตุ:

ค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) = ผลรวมค้ำตะแกรงร่อนสะสม(ร้อยละ)ตั้งแต่เบอร์ 100 และ
หยาบกว่า หกร้อย 100

ตารางที่ ก.6

การกระจายขนาดคละของวัสดุมวลรวมหินฝุ่นผสมแร่ดินเบา

ขนาดตะแกรงร่อน เบอร์ (มม.)	หินฝุ่นผสมแร่ดินเบา ร้อยละ 10	หินฝุ่นผสมแร่ดินเบา ร้อยละ 15	หินฝุ่นผสมแร่ดินเบา ร้อยละ 20
	ผ่านตะแกรงร่อน (ร้อยละ)	ผ่านตะแกรงร่อน (ร้อยละ)	ผ่านตะแกรงร่อน (ร้อยละ)
# 4 (4.75)	9.98	14.97	19.96
# 8 (2.36)	9.97	14.95	19.93
# 16 (1.18)	9.96	14.94	19.92
# 30 (0.60)	9.90	14.84	19.79
# 50 (0.30)	9.52	14.29	19.05
# 100 (0.15)	8.74	13.11	17.48
# 200 (0.075)	7.38	11.07	14.76

ตารางที่ ก.7

การกระจายขนาดคละของวัสดุมวลรวมหินฝุ่นผสมเถ้าขาน้อย

ขนาดตะแกรงร่อน เบอร์ (มม.)	หินฝุ่นผสมเถ้า ขาน้อย ร้อยละ 10	หินฝุ่นผสมเถ้า ขาน้อย ร้อยละ 15	หินฝุ่นผสมเถ้า ขาน้อย ร้อยละ 20
	ผ่านตะแกรงร่อน (ร้อยละ)	ผ่านตะแกรงร่อน (ร้อยละ)	ผ่านตะแกรงร่อน (ร้อยละ)
# 4 (4.75)	86.55	81.74	76.93
# 8 (2.36)	60.68	57.31	53.94
# 16 (1.18)	38.52	36.38	34.24
# 30 (0.60)	24.10	22.76	21.42
# 50 (0.30)	16.03	15.14	14.25
# 100 (0.15)	10.80	10.20	9.60
# 200 (0.075)	7.78	7.34	6.91

การคำนวณสัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก

1.1 คุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการคำนวณ

วัสดุผสมคอนกรีตบล็อก	ความถ่วงจำเพาะ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	3.15
หินฝุ่น	2.63
แร็ดดินเบา	2.12
เถ้าขานอ้อย	2.18

1.2 ความต้องการ

ขนาดใหญ่สุดของหินฝุ่น	10	มม.
ค่าความยุบตัว	1	ซม.
ปริมาณน้ำ	173	กก./ลบ.ม.
ปริมาณฟองอากาศ (ร้อยละ)	6	
อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	0.53	

1.3 การคำนวณสัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก เท่ากับ 1 ลบ.ม

ปริมาณปูนซีเมนต์	$173/0.53$	$=$	326	กก.
	$326/(3.15 \times 1000)$	$=$	0.104	ลบ.ม.
ปริมาณหินฝุ่น	$1 - (173/1000) - (6/100) - 0.104$	$=$	0.663	ลบ.ม.
	$0.663 \times 2.63 \times 1000$	$=$	1745	กก.

สัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ ก.8

ตารางที่ ก.8

สัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสม

หน่วย	ปูนซีเมนต์	น้ำ	ฟองอากาศ	หินฝุ่น	รวม
กก.	326	173	0	1745	2244
ลบ.ม	0.104	0.173	0.06	0.663	1

สรุปสัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกเพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติ และทำการปรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ให้สามารถขึ้นรูปได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบทางกายภาพของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข.1

ผลการทดสอบการซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกในสภาวะต่าง ๆ

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	น้ำหนัก ของก้อน เมื่อเปียก (กก.)	น้ำหนัก ของก้อน เมื่อแห้ง (กก.)	น้ำหนักของ ก้อนเมื่อแขวน ในน้ำ (กก.)	น้ำหนัก ของก้อน ตัวอย่าง (กก.)
CONTROL (N0)	0	1	6.6615	6.1748	3.7556	6.2234
		2	6.4247	5.9459	3.6204	5.9935
		3	6.4508	5.9527	3.6409	6.0088
		4	6.6572	6.1458	3.7571	6.2006
		5	6.5230	6.0244	3.6813	6.0741
		เฉลี่ย	6.5434	6.0487	3.6911	6.1001
แร่ดินเบา (D10)	10	1	6.0808	5.4045	3.1853	5.4748
		2	6.3763	5.6598	3.3941	5.7403
		3	6.2977	5.6343	3.3703	5.7026
		4	6.3485	5.6604	3.3492	5.7248
		5	6.1251	5.4320	3.1718	5.5106
		เฉลี่ย	6.2457	5.5582	3.2941	5.6306
แร่ดินเบา (D15)	15	1	5.9581	5.0284	3.0010	5.1128
		2	6.0828	5.1641	3.1670	5.2401
		3	6.0242	4.9164	3.0381	4.9984
		4	5.8067	4.7121	2.9182	4.8047
		5	6.0750	4.9687	3.0905	5.0593
		เฉลี่ย	5.9894	4.9579	3.0430	5.0431

ตารางที่ ข.1(ต่อ)

ผลการทดสอบการซึ้มน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกในสภาวะต่าง ๆ

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	น้ำหนัก ของก้อน เมื่อเปียก (กก.)	น้ำหนัก ของก้อน เมื่อแห้ง (กก.)	น้ำหนักของ ก้อนเมื่อแขวน ในน้ำ (กก.)	น้ำหนัก ของก้อน ตัวอย่าง (กก.)
แร่ดินเบา (D20)	20	1	5.5489	4.5397	2.7174	4.6463
		2	5.4125	4.4560	2.6183	4.5105
		3	5.4860	4.5969	2.6969	4.6532
		4	5.4876	4.5346	2.6554	4.5881
		5	5.5523	4.6466	2.7504	4.7108
		เฉลี่ย	5.4975	4.5548	2.6877	4.6218
เถ้าขาน้อย (SA10)	10	1	6.4904	5.3462	3.3413	5.4287
		2	6.5356	5.5245	3.4535	5.5876
		3	6.4210	5.3559	3.3678	5.4284
		4	6.4071	5.2679	3.3186	5.3412
		5	6.3681	5.1803	3.2453	5.2534
		เฉลี่ย	6.4444	5.3350	3.3453	5.4079
เถ้าขาน้อย (SA15)	15	1	5.8306	4.8223	3.0168	4.9034
		2	6.2405	4.9106	3.0963	4.9932
		3	6.1289	4.7698	3.1764	4.8589
		4	6.1721	5.0782	2.9153	5.1536
		5	6.2472	5.1677	3.2063	5.2368
		เฉลี่ย	6.1239	4.9497	3.0822	5.0292

ตารางที่ ข.1(ต่อ)

ผลการทดสอบการซึ้มน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกในสภาวะต่าง ๆ

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	น้ำหนัก ของก้อน เมื่อเปียก (กก.)	น้ำหนัก ของก้อน เมื่อแห้ง (กก.)	น้ำหนักของ ก้อนเมื่อแขวน ในน้ำ (กก.)	น้ำหนัก ของก้อน ตัวอย่าง (กก.)
เถ้าขานอ้อย (SA20)	20	1	6.5348	5.4178	3.3646	5.5772
		2	6.0739	4.9030	3.0616	5.0460
		3	5.9293	4.7398	2.9562	4.9136
		4	6.2088	4.8641	3.0277	5.0681
		5	6.3599	5.1314	3.1677	5.3023
		เฉลี่ย	6.2213	5.0112	3.1156	5.1814

ตารางที่ ข.2

ผลการทดสอบการดูดซึ้มน้ำ หน่วยน้ำหนัก และปริมาณความชื้นของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	การ ดูดซึ้มน้ำ (กก./ม. ³)	การ ดูดซึ้มน้ำ (ร้อยละ)	หน่วย น้ำหนัก (กก./ม. ³)	ปริมาณ ความชื้น (ร้อยละ)
CONTROL (N0)	0	1	167.487	7.882	2124.92	9.986
		2	170.738	8.053	2120.28	9.942
		3	177.266	8.368	2118.47	11.263
		4	176.339	8.321	2119.17	10.716
		5	175.458	8.276	2120.00	9.968
		เฉลี่ย	173.441	8.179	2120.59	10.382

ตารางที่ ข.2 (ต่อ)

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ หน่วยน้ำหนัก และปริมาณความชื้นของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	การ ดูดซึมน้ำ (กก./ม. ³)	การ ดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	หน่วย น้ำหนัก (กก./ม. ³)	ปริมาณ ความชื้น (ร้อยละ)
แร่ดินเบา (D10)	10	1	233.569	12.514	1866.52	10.395
		2	240.259	12.659	1897.86	11.235
		3	226.617	11.774	1924.68	10.295
		4	229.420	12.156	1887.24	9.359
		5	234.687	12.760	1839.30	11.340
		เฉลี่ย	232.922	12.369	1883.15	10.534
แร่ดินเบา (D15)	15	1	314.396	18.489	1700.45	9.078
		2	315.076	17.790	1771.07	8.273
		3	370.986	22.533	1646.43	7.402
		4	378.951	23.230	1631.33	8.460
		5	370.682	22.265	1664.83	8.189
		เฉลี่ย	350.061	20.803	1682.71	8.253
แร่ดินเบา (D20)	20	1	356.419	22.231	1603.28	10.563
		2	342.316	21.465	1594.73	5.698
		3	318.777	19.341	1648.17	6.332
		4	336.488	21.016	1601.09	5.614
		5	323.245	19.492	1658.37	7.088
		เฉลี่ย	335.507	20.697	1621.04	7.109

ตารางที่ ๗.2 (ต่อ)

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ หน่วยน้ำหนัก และปริมาณความชื้นของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	การ ดูดซึมน้ำ (กก./ม. ³)	การ ดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	หน่วย น้ำหนัก (กก./ม. ³)	ปริมาณ ความชื้น (ร้อยละ)
เถ้าขาน้อย (SA10)	10	1	363.342	21.402	1697.69	7.210
		2	328.056	18.302	1792.45	6.241
		3	348.847	19.886	1754.19	6.807
		4	368.852	21.625	1705.65	6.434
		5	380.364	22.929	1658.86	6.154
		เฉลี่ย	357.996	20.796	1721.43	6.571
เถ้าขาน้อย (SA15)	15	1	358.341	20.909	1713.80	8.043
		2	422.969	27.082	1561.80	6.211
		3	460.322	28.494	1615.51	6.556
		4	335.882	21.541	1559.26	6.893
		5	354.994	20.889	1699.40	6.401
		เฉลี่ย	386.022	23.721	1627.32	6.768
เถ้าขาน้อย (SA20)	20	1	352.344	20.617	1708.98	14.270
		2	388.706	23.881	1627.66	12.213
		3	400.087	25.096	1594.23	14.611
		4	422.715	27.645	1529.06	15.171
		5	384.844	23.941	1607.48	13.911
		เฉลี่ย	389.635	24.148	1613.51	14.066

ตารางที่ ข.3

ผลการทดสอบความพูนและการนำความร้อน ของคอนกรีตบดล็อก

การทดสอบ	ผสมแร่ดินเบา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				ผสมเถ้าขาน้อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	0	10	15	20	10	15	20
สัญลักษณ์	N0	D10	D15	D20	SA10	SA15	SA20
ความพูนตัว (ร้อยละ)	7.23	11.49	18.73	23.11	10.69	19.33	23.12
ค่าการนำความร้อน (W/mK) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ภาวะการทดสอบที่ อุณหภูมิห้อง 24 องศา เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 56 %)	1.123	0.761	0.509	0.384	0.674	0.625	0.579

ตารางที่ ข.4

ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ของคอนกรีตบล็อก

ความถี่ของคลื่น เสียง (Hz.)	ผสมแร่ดินเบา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		ผสมเถ้าขาน้อย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
	0	10	20
สัญลักษณ์	N0	D10	SA20
125	0.05	0.06	0.08
160	0.13	0.12	0.11
200	0.10	0.15	0.08
250	0.03	0.12	0.03
315	0.08	0.11	0.04
400	0.09	0.12	0.03
500	0.11	0.15	0.03
630	0.13	0.16	0.04
800	0.19	0.22	0.07
1000	0.16	0.25	0.10
1250	0.14	0.25	0.08
1600	0.16	0.28	0.11
2000	0.16	0.29	0.11
2500	0.13	0.27	0.08
3150	0.11	0.26	0.07
4000	0.10	0.24	0.04
NRC	0.12	0.20	0.07

หมายเหตุ: NRC (Noise Reduction Coefficient) เท่ากับ ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของความถี่คลื่นเสียงที่ 250, 500, 1000, และ 2,000 เฮิรต มาหาค่าเฉลี่ย

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ค.1

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
CONTROL (N0)	0	3	1	6.61	18.69	38.80	9693.68	37.80
			2	6.50	18.88	38.90	6873.68	27.18
			3	6.47	19.00	39.05	6633.68	26.26
			4	6.54	18.93	39.00	9053.68	35.50
			5	6.68	18.99	39.00	10073.68	38.67
			เฉลี่ย	6.56	18.90	38.95	8465.68	33.08
CONTROL (N0)	0	7	1	6.62	18.81	38.95	11953.68	46.36
			2	6.66	18.93	39.00	6993.68	26.93
			3	6.55	18.92	39.10	7933.68	30.98
			4	6.55	19.01	39.00	7948.68	31.12
			5	6.60	19.05	38.90	9823.68	38.26
			เฉลี่ย	6.60	18.94	38.99	8930.68	34.73
CONTROL (N0)	0	14	1	6.58	19.18	39.00	8763.68	34.15
			2	6.51	19.05	39.00	9933.68	39.13
			3	6.63	18.90	39.00	8283.68	32.04
			4	6.67	19.14	38.90	7923.68	30.54
			5	6.67	18.93	38.90	11603.68	44.72
			เฉลี่ย	6.61	19.04	38.96	9301.68	36.11
CONTROL (N0)	0	28	1	6.55	18.78	39.00	10973.68	42.96
			2	6.67	18.85	39.05	10373.68	39.83
			3	6.50	18.77	39.00	9368.68	36.96
			4	6.53	18.92	38.90	10503.68	41.35
			5	6.64	18.87	38.90	11753.68	45.50
			เฉลี่ย	6.58	18.84	38.97	10594.68	41.32

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
CONTROL (N0)	0	60	1	6.53	18.90	38.80	14223.68	56.14
			2	6.58	18.48	39.00	10053.68	39.18
			3	6.52	18.94	38.90	12203.68	48.12
			4	6.42	18.78	38.90	9943.68	39.82
			5	6.42	18.72	39.00	9243.68	36.92
			เฉลี่ย	6.49	18.76	38.92	11133.68	44.03
CONTROL (N0)	0	90	1	6.61	18.78	38.95	14903.68	57.89
			2	6.66	19.10	39.00	9543.68	36.74
			3	6.65	19.17	38.95	12693.68	49.01
			4	6.57	18.87	39.00	11003.68	42.94
			5	6.51	18.84	39.00	9613.68	37.87
			เฉลี่ย	6.60	18.95	38.98	11551.68	44.89

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
แร่ดินเบา (D10)	10	3	1	6.55	19.05	38.90	4318.68	16.95
			2	6.68	18.72	38.80	3023.68	11.67
			3	6.47	18.83	38.90	2358.68	9.37
			4	6.61	18.79	38.80	4133.68	16.12
			5	6.60	18.61	38.80	6478.68	25.30
			เฉลี่ย	6.58	18.80	38.84	4062.68	15.88
แร่ดินเบา (D10)	10	7	1	6.51	18.52	38.90	3503.68	13.84
			2	6.59	18.63	38.80	3838.68	15.01
			3	6.61	18.75	38.90	7168.68	27.88
			4	6.53	18.64	39.00	6123.68	24.05
			5	6.54	18.80	38.90	5518.68	21.69
			เฉลี่ย	6.56	18.67	38.90	5230.68	20.49
แร่ดินเบา (D10)	10	14	1	6.62	18.52	39.00	4998.68	19.36
			2	6.65	18.94	38.90	4958.68	19.17
			3	6.57	18.77	38.70	4378.68	17.22
			4	6.51	18.83	38.80	6248.68	24.74
			5	6.57	18.07	38.80	7623.68	29.91
			เฉลี่ย	6.58	18.63	38.84	5641.68	22.08
แร่ดินเบา (D10)	10	28	1	6.60	18.92	38.70	6578.68	25.76
			2	6.53	19.30	38.80	6018.68	23.76
			3	6.51	19.00	38.90	6883.68	27.18
			4	6.56	18.50	38.80	6573.68	25.83
			5	6.55	18.60	38.90	6708.68	26.33
			เฉลี่ย	6.55	18.86	38.82	6552.68	25.77

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
แร่ดินเบา (D10)	10	60	1	6.48	18.50	38.80	8173.68	32.51
			2	6.48	18.66	38.90	7598.68	30.14
			3	6.46	18.68	38.80	7133.68	28.46
			4	6.49	18.71	38.80	7263.68	28.85
			5	6.48	18.66	38.80	6493.68	25.83
			เฉลี่ย	6.48	18.64	38.82	7332.68	29.16
แร่ดินเบา (D10)	10	90	1	6.56	19.15	38.90	8463.68	33.17
			2	6.58	18.60	38.90	6158.68	24.06
			3	6.66	19.03	38.80	6618.68	25.61
			4	6.63	18.59	38.90	7903.68	30.65
			5	6.59	19.10	38.80	7293.68	28.53
			เฉลี่ย	6.60	18.89	38.86	7287.68	28.40

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบดล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บดล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
แร่ดินเบา (D15)	15	3	1	6.62	19.30	38.90	1098.68	4.27
			2	6.55	18.60	38.00	2153.68	8.65
			3	6.54	17.49	39.00	1288.68	5.05
			4	6.50	18.56	38.90	1983.68	7.85
			5	6.55	18.48	38.80	1848.68	7.27
			เฉลี่ย	6.55	18.49	38.72	1674.68	6.62
แร่ดินเบา (D15)	15	7	1	6.53	18.20	39.00	1013.68	3.98
			2	6.61	18.84	38.00	2718.68	10.82
			3	6.58	17.97	39.05	1378.68	5.37
			4	6.60	18.53	39.00	1968.68	7.65
			5	6.57	18.46	38.90	2353.68	9.21
			เฉลี่ย	6.58	18.40	38.79	1886.68	7.41
แร่ดินเบา (D15)	15	14	1	6.53	18.79	38.90	1988.68	7.83
			2	6.64	18.61	39.00	1788.68	6.91
			3	6.63	18.16	39.00	1928.68	7.46
			4	6.59	18.53	39.00	1798.68	7.00
			5	6.61	18.64	38.90	1918.68	7.46
			เฉลี่ย	6.60	18.55	38.96	1884.68	7.33
แร่ดินเบา (D15)	15	28	1	6.63	18.63	39.00	2243.68	8.68
			2	6.55	19.17	38.90	2088.68	8.20
			3	6.56	18.20	39.00	1683.68	6.58
			4	6.68	19.33	38.80	1603.68	6.19
			5	6.58	18.93	38.90	2853.68	11.15
			เฉลี่ย	6.60	18.85	38.92	2094.68	8.16

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
แร่ดินเบา (D15)	15	60	1	6.51	18.47	38.80	1748.68	6.92
			2	6.51	18.46	38.80	1938.68	7.68
			3	6.54	18.52	38.80	4248.68	16.74
			4	6.57	18.85	38.90	3833.68	15.00
			5	6.69	19.13	38.80	1498.68	5.77
			เฉลี่ย	6.56	18.69	38.82	2653.68	10.42
แร่ดินเบา (D15)	15	90	1	6.56	18.85	38.95	1677.68	6.57
			2	6.57	18.71	38.90	2525.68	9.88
			3	6.57	18.05	38.80	2239.68	8.79
			4	6.56	18.91	38.80	3099.68	12.18
			5	6.55	18.82	38.85	3309.68	13.01
			เฉลี่ย	6.56	18.67	38.86	2570.48	10.08

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
แร่ดินเบา (D20)	20	3	1	6.58	17.85	39.00	1073.68	4.18
			2	6.52	17.77	38.90	818.68	3.23
			3	6.55	17.88	39.00	1118.68	4.38
			4	6.64	17.90	38.80	843.68	3.27
			5	6.60	18.33	39.00	1253.68	4.87
			เฉลี่ย	6.58	17.95	38.94	1021.68	3.99
แร่ดินเบา (D20)	20	7	1	6.57	17.83	38.90	1103.68	4.32
			2	6.64	17.80	39.00	1103.68	4.26
			3	6.60	18.10	38.90	1048.68	4.08
			4	6.65	17.95	39.00	1243.68	4.80
			5	6.59	18.00	38.80	1378.68	5.39
			เฉลี่ย	6.61	17.94	38.92	1175.68	4.57
แร่ดินเบา (D20)	20	14	1	6.58	18.00	38.70	1588.68	6.24
			2	6.53	18.05	38.90	1463.68	5.76
			3	6.57	17.35	38.90	1418.68	5.55
			4	6.54	18.03	38.90	1768.68	6.95
			5	6.55	17.94	39.00	2138.68	8.37
			เฉลี่ย	6.55	17.87	38.88	1675.68	6.58
แร่ดินเบา (D20)	20	28	1	6.55	17.62	38.85	1813.68	7.13
			2	6.57	17.93	38.90	1818.68	7.12
			3	6.55	17.94	38.90	1253.68	4.92
			4	6.58	18.11	38.90	1793.68	7.01
			5	6.52	17.72	38.90	1868.68	7.37
			เฉลี่ย	6.55	17.86	38.89	1709.68	6.71

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบดบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บดบล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
แร่ดินเบา (D20)	20	60	1	6.53	18.84	38.80	1109.68	4.38
			2	6.53	17.28	38.80	2235.68	8.82
			3	6.50	17.63	38.90	1675.68	6.63
			4	6.51	17.46	38.80	3413.68	13.51
			5	6.53	17.60	38.80	1829.68	7.22
			เฉลี่ย	6.52	17.76	38.82	2052.88	8.11
แร่ดินเบา (D20)	20	90	1	6.63	18.08	38.90	1689.68	6.55
			2	6.60	17.70	38.90	1989.68	7.75
			3	6.66	17.53	38.80	2859.68	11.07
			4	6.64	17.58	38.85	1561.68	6.05
			5	6.63	17.81	38.90	2131.68	8.27
			เฉลี่ย	6.63	17.74	38.87	2046.48	7.94

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ ซม.^2)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
เถ้าขาน้อย (SA10)	10	3	1	6.54	18.86	39.00	4683.68	18.36
			2	6.50	18.98	39.00	4308.68	17.00
			3	6.58	18.80	38.90	5668.68	22.15
			4	6.55	18.94	39.00	4893.68	19.16
			5	6.72	18.63	38.90	4983.68	19.06
			เฉลี่ย	6.58	18.84	38.96	4907.68	19.15
เถ้าขาน้อย (SA10)	10	7	1	6.64	19.06	39.00	4158.68	16.06
			2	6.64	19.14	39.00	4763.68	18.40
			3	6.65	18.93	38.90	6548.68	25.32
			4	6.58	18.97	38.80	5148.68	20.17
			5	6.61	18.68	38.75	6303.68	24.61
			เฉลี่ย	6.62	18.96	38.89	5384.68	20.91
เถ้าขาน้อย (SA10)	10	14	1	6.63	19.03	38.90	6403.68	24.83
			2	6.52	18.70	38.90	7348.68	28.97
			3	6.67	19.11	39.00	6688.68	25.71
			4	6.54	18.60	39.00	5713.68	22.40
			5	6.57	18.92	39.00	5668.68	22.12
			เฉลี่ย	6.59	18.87	38.96	6364.68	24.81
เถ้าขาน้อย (SA10)	10	28	1	6.61	18.88	39.00	8568.68	33.24
			2	6.60	18.80	38.90	6683.68	26.03
			3	6.50	18.99	38.90	5733.68	22.68
			4	6.53	19.03	39.00	8488.68	33.33
			5	6.50	18.90	39.00	5763.68	22.74
			เฉลี่ย	6.55	18.92	38.96	7047.68	27.60

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
เถ้าขาน้อย (SA10)	10	60	1	6.62	18.75	39.00	6763.68	26.20
			2	6.61	18.97	38.90	6883.68	26.77
			3	6.54	18.83	39.00	7763.68	30.44
			4	6.58	18.83	38.80	8413.68	32.96
			5	6.54	18.75	39.00	5858.68	22.97
			เฉลี่ย	6.58	18.83	38.94	7136.68	27.87
เถ้าขาน้อย (SA10)	10	90	1	6.59	18.81	38.90	8603.68	33.56
			2	6.56	18.89	39.00	7573.68	29.60
			3	6.54	18.68	39.00	7183.68	28.16
			4	6.51	18.76	38.95	7568.68	29.85
			5	6.59	18.77	38.80	6133.68	23.99
			เฉลี่ย	6.56	18.78	38.93	7412.68	29.03

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
เถ้าขาน้อย (SA15)	15	3	1	6.55	18.82	39.00	4993.68	19.55
			2	6.67	18.67	39.00	4883.68	18.77
			3	6.64	19.00	38.90	6113.68	23.67
			4	6.54	18.64	39.00	2918.68	11.44
			5	6.51	18.91	39.00	3448.68	13.58
			เฉลี่ย	6.58	18.81	38.98	4471.68	17.40
เถ้าขาน้อย (SA15)	15	7	1	6.65	18.89	38.90	5413.68	20.93
			2	6.56	18.68	39.10	4963.68	19.35
			3	6.54	19.20	38.90	4993.68	19.63
			4	6.65	19.02	38.95	3868.68	14.94
			5	6.55	18.37	39.10	3628.68	14.17
			เฉลี่ย	6.59	18.83	38.99	4573.68	17.80
เถ้าขาน้อย (SA15)	15	14	1	6.53	19.04	38.80	5063.68	19.99
			2	6.55	19.08	39.00	4143.68	16.22
			3	6.60	18.96	38.90	5093.68	19.84
			4	6.60	18.92	38.85	5628.68	21.95
			5	6.45	18.93	38.90	6583.68	26.24
			เฉลี่ย	6.55	18.99	38.89	5302.68	20.85
เถ้าขาน้อย (SA15)	15	28	1	6.64	18.76	38.90	5203.68	20.15
			2	6.55	18.80	39.00	9318.68	36.48
			3	6.64	18.81	39.00	5368.68	20.73
			4	6.60	18.85	39.00	5503.68	21.38
			5	6.54	18.80	39.05	7113.68	27.85
			เฉลี่ย	6.59	18.80	38.99	6501.68	25.32

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
เถ้าขาน้อย (SA15)	15	60	1	6.66	18.74	38.80	8033.68	31.09
			2	6.64	18.75	38.90	3708.68	14.36
			3	6.58	18.78	38.90	5558.68	21.72
			4	6.63	18.75	38.90	5563.68	21.57
			5	6.58	18.78	38.70	11153.68	43.80
			เฉลี่ย	6.62	18.76	38.84	6803.68	26.51
เถ้าขาน้อย (SA15)	15	90	1	6.71	19.00	38.90	9453.68	36.22
			2	6.56	18.75	39.10	5548.68	21.63
			3	6.59	18.56	38.70	5183.68	20.33
			4	6.55	18.77	39.00	6288.68	24.62
			5	6.65	18.61	39.00	9338.68	36.01
			เฉลี่ย	6.61	18.74	38.94	7162.68	27.76

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
เถ้าขาน้อย (SA20)	20	3	1	6.66	18.94	39.00	3523.68	13.57
			2	6.63	18.86	39.00	2828.68	10.94
			3	6.52	18.61	39.00	3193.68	12.56
			4	6.64	19.04	39.00	3093.68	11.95
			5	6.52	18.58	39.00	3573.68	14.05
			เฉลี่ย	6.59	18.81	39.00	3242.68	12.61
เถ้าขาน้อย (SA20)	20	7	1	6.66	18.64	38.90	6133.68	23.68
			2	6.61	18.68	38.90	5813.68	22.61
			3	6.50	18.92	39.00	2963.68	11.69
			4	6.59	18.66	38.80	4363.68	17.07
			5	6.59	18.95	38.85	2993.68	11.69
			เฉลี่ย	6.59	18.77	38.89	4453.68	17.35
เถ้าขาน้อย (SA20)	20	14	1	6.60	18.80	39.00	6918.68	26.88
			2	6.55	18.95	38.95	7493.68	29.37
			3	6.68	18.90	38.90	4498.68	17.31
			4	6.67	18.80	39.00	2498.68	9.61
			5	6.53	18.73	39.00	4073.68	16.00
			เฉลี่ย	6.61	18.84	38.97	5096.68	19.83
เถ้าขาน้อย (SA20)	20	28	1	6.56	18.69	39.10	4673.68	18.22
			2	6.53	18.83	39.00	8288.68	32.55
			3	6.63	18.74	38.80	7218.68	28.06
			4	6.66	19.10	39.00	6338.68	24.40
			5	6.54	18.82	38.95	5893.68	23.14
			เฉลี่ย	6.58	18.84	38.97	6482.68	25.27

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วน การแทนที่ (ร้อยละ)	ทดสอบ ที่อายุ (วัน)	คอนกรีต บล็อก ก้อนที่	ขนาด			แรงกด (กก.)	กำลังรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)
				หนา (ซม.)	สูง (ซม.)	ยาว (ซม.)		
เถ้าขาน้อย (SA20)	20	60	1	6.49	18.76	38.90	7238.68	28.67
			2	6.60	18.49	38.80	8118.68	31.70
			3	6.57	18.47	38.70	6763.68	26.60
			4	6.54	18.55	38.80	6183.68	24.37
			5	6.59	18.67	38.90	5418.68	21.14
			เฉลี่ย	6.56	18.59	38.82	6744.68	26.50
เถ้าขาน้อย (SA20)	20	90	1	6.66	18.90	38.95	5913.68	22.80
			2	6.55	18.66	39.10	6993.68	27.31
			3	6.55	18.69	38.90	7878.68	30.92
			4	6.64	18.74	38.90	8458.68	32.75
			5	6.60	18.75	39.00	5483.68	21.30
			เฉลี่ย	6.60	18.75	38.97	6945.68	27.02

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านความคงทนของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ง.1

ผลการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีตบล็อก ก้อนที่	น้ำหนักของก้อนตัวอย่าง (กิโลกรัม)					
			เริ่มต้น	5 วัน	10 วัน	28 วัน	60 วัน	90 วัน
CONTROL (N0)	0	1	6670.2	6614.8	6578.0	6533.4	6532.7	6490.6
		2	6386.9	6308.7	6282.6	6270.4	6237.7	6218.0
		3	6529.4	6484.4	6441.1	6429.3	6382.7	6361.6
		เฉลี่ย	6528.8	6469.3	6433.9	6411.0	6384.4	6356.7
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		0.912	1.454	1.804	2.213	2.636
แบริดดินเบา (D10)	10	1	6405.3	6342.8	6335.9	6331.7	6266.2	6192.3
		2	6104.3	6044.8	5966.5	5933.9	5881.1	5818.5
		3	5873.6	5816.3	5697.5	5660.6	5643.3	5570.2
		เฉลี่ย	6127.7	6068.0	6000.0	5975.4	5930.2	5860.3
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		0.975	2.085	2.486	3.224	4.364
แบริดดินเบา (D15)	15	1	5578.8	5530.6	5400.8	5400.2	5224.6	5211.1
		2	5715.2	5608.4	5461.8	5454.4	5316.5	5303.1
		3	5669.2	5630.8	5455.4	5444.1	5289.4	5277.4
		เฉลี่ย	5654.4	5589.9	5439.3	5432.9	5276.8	5263.9
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.140	3.804	3.917	6.677	6.907
แบริดดินเบา (D20)	20	1	5487.3	5438.4	5251.9	5215.7	4987.2	4933.9
		2	5385.6	5301.9	5140.4	5104.1	4827.6	4791.0
		3	5286.4	5199.6	4996.3	4968.2	4752.8	4718.0
		เฉลี่ย	5386.4	5313.3	5129.5	4968.2	4855.9	4814.3
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.358	4.769	7.765	9.850	10.622

ตารางที่ ง.1(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก

วัสดุมวล รวม (สัญลักษณ์)	อัตรา ส่วนการ แทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีตบล็อก ก้อนที่	น้ำหนักของก้อนตัวอย่าง (กิโลกรัม)					
			เริ่มต้น	5 วัน	10 วัน	28 วัน	60 วัน	90 วัน
เก้าขวานอ้อย (SA10)	10	1	6161.3	6070.7	5921.4	5920.3	5757.2	5725.3
		2	6430.8	6399.9	6257.5	6250.6	6088.9	6073.9
		3	6415.2	6347.1	6200.6	6200.0	6037.8	5981.5
		เฉลี่ย	6335.8	6272.6	6126.5	6123.6	5961.3	5926.9
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		0.998	3.303	3.348	5.910	6.453
เก้าขวานอ้อย (SA15)	15	1	6047.9	5957.8	5820.6	5816.6	5674.3	5624
		2	5975.9	5886.9	5751.3	5747.4	5606.7	5557
		3	5881.0	5793.4	5660	5656.1	5517.7	5468.8
		เฉลี่ย	5968.3	5879.4	5744.0	5740.0	5599.6	5549.9
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.490	3.758	3.824	6.178	7.009
เก้าขวานอ้อย (SA20)	20	1	5523.9	5502.0	5269.8	5243.9	5054.6	5014.6
		2	5828.3	5667.0	5503.9	5501.0	5235.9	5174.0
		3	5869.2	5763.9	5621.5	5606.8	5483.3	5460.7
		เฉลี่ย	5740.5	5644.3	5465.1	5450.6	5257.9	5216.4
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.675	4.798	5.050	8.406	9.129

ตารางที่ ง.2

ผลการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดไนตริก

วัสดุผสม รวม (สัญลักษณ์)	อัตรา ส่วนการ แทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีตบล็อก ก้อนที่	น้ำหนักของก้อนตัวอย่าง (กิโลกรัม)					
			เริ่มต้น	5 วัน	10 วัน	28 วัน	60 วัน	90 วัน
CONTROL (N0)	0	1	6236.4	6165.3	6119	6100.2	5993.1	5947.5
		2	6293.9	6229.8	6176.3	6161.7	6049.2	6011
		3	6659.3	6585.1	6546.6	6522	6387.1	6348.9
		เฉลี่ย	6396.5	6326.7	6280.6	6261.3	6143.1	6102.5
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.091	1.812	2.114	3.962	4.597
แบริดอินเบา (D10)	10	1	5953.3	5868.4	5814.5	5805.1	5621.9	5541.4
		2	6162.8	6091.1	6015.6	5992.1	5816.9	5754.4
		3	6353.7	6296.6	6235.6	6226.1	6055	6009.7
		เฉลี่ย	6156.6	6085.4	6021.9	6007.8	5831.3	5768.5
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.157	2.188	2.417	5.284	6.304
แบริดอินเบา (D15)	15	1	5806.1	5692.4	5492.9	5483.9	5258.4	5177.8
		2	5851.1	5782.0	5599.9	5562.9	5384.6	5338.4
		3	5873.8	5778.5	5687.2	5675.8	5483.9	5376.3
		เฉลี่ย	5843.7	5751.0	5593.3	5574.2	5375.6	5297.5
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.586	4.284	4.611	8.009	9.346
แบริดอินเบา (D20)	20	1	5125.5	5034.9	4918.5	4904.3	4568.7	4491.8
		2	5239.0	5099.0	5008.8	4980.7	4610.6	4516.1
		3	5333.1	5093.8	5075.8	5000.2	4641.3	4559.0
		เฉลี่ย	5232.5	5075.9	5001.0	4961.7	4606.9	4522.3
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		2.993	4.424	5.175	11.957	13.573

ตารางที่ ง.2(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดไนตริก

วัสดุมวล รวม (สัญลักษณ์)	อัตรา ส่วนการ แทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีตบล็อก ก้อนที่	น้ำหนักของก้อนตัวอย่าง (กิโลกรัม)					
			เริ่มต้น	5 วัน	10 วัน	28 วัน	60 วัน	90 วัน
เก้าชาน้อย (SA10)	10	1	6034.1	5965.1	5877.9	5836.5	5724.4	5617.5
		2	6401.4	6328.2	6235.7	6191.8	6072.8	5959.4
		3	6318.0	6245.8	6154.4	6111.1	5993.7	5881.8
		เฉลี่ย	6251.2	6179.7	6089.3	6046.5	5930.3	5819.6
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.143	2.589	3.275	5.133	6.904
เก้าชาน้อย (SA15)	15	1	5880.4	5758.5	5662.9	5641.2	5512.0	5416.7
		2	5967.6	5856	5738.1	5728.7	5551.3	5488.2
		3	5954.8	5862.6	5764.2	5739.2	5655.6	5585.9
		เฉลี่ย	5934.3	5825.7	5721.7	5703.0	5573.0	5496.9
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.829	3.581	3.897	6.088	7.370
เก้าชาน้อย (SA20)	20	1	5488.8	5242.1	5067.9	5038.1	4808.5	4680.8
		2	5775.9	5615.2	5403.1	5380.8	5196.3	5053.7
		3	5941.3	5795.3	5646.6	5603.7	5424.7	5345.0
		เฉลี่ย	5735.3	5550.9	5372.5	5340.9	5143.2	5026.5
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		3.216	6.326	6.878	10.325	12.359

ตารางที่ ง.3

ผลการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดไฮโดรคลอริก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีตบล็อก ก้อนที่	น้ำหนักของก้อนตัวอย่าง (กิโลกรัม)					
			เริ่มต้น	5 วัน	10 วัน	28 วัน	60 วัน	90 วัน
CONTROL (N0)	0	1	6393.1	6257.3	6218.6	6201.3	6176.6	6120.2
		2	6452.6	6349.7	6287.5	6227.5	6215.4	6208.1
		3	6210.1	6069.2	6019.2	5999.8	5956.3	5884.2
		เฉลี่ย	6351.9	6225.4	6175.1	6142.9	6116.1	6070.8
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.992	2.784	3.291	3.713	4.425
แบริดดินเบา (D10)	10	1	6105.2	6006.7	5945.7	5924.4	5834.3	5781.1
		2	6333.4	6204.2	6156.3	6130.5	6038.4	6011.0
		3	6403.0	6269.2	6178.3	6145.7	6134.8	6072.9
		เฉลี่ย	6280.5	6160.0	6093.4	6066.9	6002.5	5955.0
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.919	2.979	3.402	4.427	5.183
แบริดดินเบา (D15)	15	1	5862.0	5715.9	5627.8	5608.4	5450.8	5345.3
		2	5746.4	5582.2	5505.0	5486.4	5324.9	5205.1
		3	5779.4	5568.7	5499.9	5460.1	5360.0	5232.4
		เฉลี่ย	5795.9	5622.3	5544.2	5518.3	5378.6	5260.9
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		2.996	4.343	4.790	7.201	9.231
แบริดดินเบา (D20)	20	1	5301.1	5101.2	5049.6	5021.1	4834.5	4636.3
		2	5488.2	5329.5	5186.7	5151.5	4990.7	4780.9
		3	5401.9	5261.2	5109.3	5061.5	4886.6	4678.4
		เฉลี่ย	5397.1	5230.6	5115.2	5078.0	4903.9	4698.5
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		3.084	5.223	5.911	9.137	12.943

ตารางที่ ง.3(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดไฮโดรคลอริก

วัสดุมวล รวม (สัญลักษณ์)	อัตรา ส่วนการ แทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีตบล็อก ก้อนที่	น้ำหนักของก้อนตัวอย่าง (กิโลกรัม)					
			เริ่มต้น	5 วัน	10 วัน	28 วัน	60 วัน	90 วัน
เก้าชาน้อย (SA10)	10	1	6595.7	6447.7	6312.1	6300	6195.7	6150.6
		2	6276.9	6112.9	5969.4	5921.5	5836.5	5782.1
		3	6258.0	6096.0	5955.3	5930.8	5837.8	5775.4
		เฉลี่ย	6376.9	6218.9	6078.9	6050.8	5956.7	5902.7
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		2.478	4.672	5.114	6.589	7.436
เก้าชาน้อย (SA15)	15	1	5914.1	5758.2	5615.9	5570.5	5480	5418
		2	5906.3	5750.6	5608.5	5563.1	5472.8	5410.8
		3	6178.6	6015.7	5867.1	5819.6	5725.1	5660.3
		เฉลี่ย	5999.7	5841.5	5697.2	5651.1	5559.3	5496.4
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		2.636	5.042	5.810	7.340	8.388
เก้าชาน้อย (SA20)	20	1	6055.7	5930.7	5793.8	5721.6	5608.6	5526.1
		2	5665.3	5439.4	5233.6	5221.4	5037.8	4885.8
		3	5607.3	5294.4	5154.9	5101	5014.8	4848.8
		เฉลี่ย	5776.1	5554.8	5394.1	5348.0	5220.4	5086.9
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		3.831	6.613	7.412	9.621	11.932

ตารางที่ ง.4

ผลการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดอะซิติก

วัสดุผสม รวม (สัญลักษณ์)	อัตรา ส่วนการ แทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีตบล็อก ก้อนที่	น้ำหนักของก้อนตัวอย่าง (กิโลกรัม)					
			เริ่มต้น	5 วัน	10 วัน	28 วัน	60 วัน	90 วัน
CONTROL (N0)	0	1	6629.2	6530.4	6085.4	5980.1	5173.8	4651.8
		2	6676.8	6566.5	6250.6	6026.2	5413.2	4930.2
		3	6607.5	6525.0	6145.7	6006.0	5300.0	4787.2
		เฉลี่ย	6637.8	6540.6	6160.6	6004.1	5295.7	4789.7
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.464	7.190	9.547	20.220	27.842
แบริดอินเบา (D10)	10	1	5734.4	5641.3	5248.1	5093.8	4137.6	3758.8
		2	6008.6	5911.1	5519.9	5425.7	4606.6	4108.6
		3	6100.0	6001	5670.6	5605.5	4847.0	4345.7
		เฉลี่ย	5947.7	5851.1	5479.5	5375.0	4530.4	4071.0
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		1.623	7.871	9.628	23.829	31.552
แบริดอินเบา (D15)	15	1	5785.5	5653.8	5312.6	5215.3	4430.7	3929.5
		2	5514.1	5388.5	5063.4	4970.6	3914.9	3586.9
		3	5619.0	5491.1	5159.7	5065.2	4243.8	3788.3
		เฉลี่ย	5639.5	5511.1	5178.6	5083.7	4196.5	3768.2
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		2.277	8.174	9.856	25.588	33.182
แบริดอินเบา (D20)	20	1	5218.1	5048.3	4747.1	4636.2	3671.1	3056.5
		2	5295.3	5171.1	4793.1	4732.4	3983.9	3243.8
		3	5221.4	5134.5	4747.8	4658.0	3732.3	แตก
		เฉลี่ย	5256.7	5109.7	4770.1	4684.3	3827.5	3150.2
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		2.796	9.257	10.889	27.188	40.074

ตารางที่ ง.4(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อการกัดกร่อนของกรดอะซิติก

วัสดุมวล รวม (สัญลักษณ์)	อัตรา ส่วนการ แทนที่ (ร้อยละ)	คอนกรีตบล็อก ก้อนที่	น้ำหนักของก้อนตัวอย่าง (กิโลกรัม)					
			เริ่มต้น	5 วัน	10 วัน	28 วัน	60 วัน	90 วัน
เก้าชาน้อย (SA10)	10	1	6345.7	6187.2	5847.4	5711.1	4949.3	4427.1
		2	6070.9	5863.0	5477.9	5344.8	4588.9	4034.0
		3	6190.6	6051.6	5716.6	5464.9	4788.3	4261.1
		เฉลี่ย	6202.4	6033.9	5680.6	5506.9	4775.5	4240.7
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		2.716	8.412	11.213	23.006	31.628
เก้าชาน้อย (SA15)	15	1	5949.8	5760	5436.9	5203.4	4295	3811
		2	6091.3	5897	5566.2	5327.1	4397.2	3901.6
		3	6115.4	5920.3	5588.3	5348.2	4414.6	3917
		เฉลี่ย	6052.2	5859.1	5530.5	5292.9	4368.9	3876.5
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		3.190	8.620	12.545	27.812	35.949
เก้าชาน้อย (SA20)	20	1	5919.1	5713.5	5380.2	4875.6	4082.5	3699.9
		2	6687.7	6455.4	6078.9	5508.7	4612.6	4180.3
		3	6278.9	6060.8	5707.3	5172	4330.7	3924.8
		เฉลี่ย	6295.2	6076.6	5722.1	5185.4	4341.9	3935.0
		ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก		3.474	9.104	17.629	31.028	37.492

ตารางที่ ง.5

ผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคนกรีตบดล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตรา ส่วนการ แทนที่ (ร้อยละ)	จำนวน วันที่ ทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการวัด		การหดแบบแห้ง (ร้อยละ)			
			คูกกลาง (มม.)	คูริม (มม.)	คูกกลาง	คูริม	เฉลี่ย	ภาวะ สมดุลย์
CONTROL (N0)	0	0	1.6288	1.6762	0.0000	0.0000	0.0000	0.0628
		6	1.5849	1.6177	0.0293	0.0390	0.0341	
		9	1.5748	1.6041	0.0360	0.0481	0.0420	
		12	1.5574	1.5867	0.0476	0.0596	0.0536	
		16	1.5474	1.5760	0.0543	0.0667	0.0605	
		20	1.5448	1.5734	0.0560	0.0685	0.0622	
		24	1.5440	1.5726	0.0565	0.0691	0.0628	
แร่ดินเบา (D10)	10	0	1.7223	1.6225	0.0000	0.0000	0.0000	0.0870
		6	1.6241	1.5533	0.0655	0.0461	0.0558	
		9	1.5974	1.5248	0.0833	0.0651	0.0742	
		12	1.5892	1.5183	0.0887	0.0694	0.0791	
		16	1.5801	1.5108	0.0948	0.0744	0.0846	
		20	1.5779	1.5080	0.0963	0.0763	0.0863	
		24	1.5772	1.5070	0.0968	0.0770	0.0869	
แร่ดินเบา (D15)	15	0	1.6839	1.7023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0890
		6	1.6156	1.5860	0.0455	0.0775	0.0615	
		9	1.5926	1.5656	0.0609	0.0911	0.0760	
		12	1.5848	1.5598	0.0661	0.0950	0.0805	
		16	1.5777	1.5503	0.0708	0.1013	0.0861	
		20	1.5727	1.5488	0.0741	0.1024	0.0882	
		24	1.5717	1.5476	0.0748	0.1032	0.0890	

ตารางที่ ง.5(ต่อ)

ผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคนกรีตบดล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตรา ส่วนการ แทนที่ (ร้อยละ)	จำนวน วันที่ ทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการวัด		การหดแบบแห้ง (ร้อยละ)			
			คูกกลาง (มม.)	คูริม (มม.)	คูกกลาง	คูริม	เฉลี่ย	ภาวะ สมดุลย์
แร่ดินเบา (D20)	20	0	1.7636	1.7110	0.0000	0.0000	0.0000	0.1050
		6	1.6362	1.5845	0.0850	0.0844	0.0847	
		9	1.6270	1.5804	0.0911	0.0871	0.0891	
		12	1.6271	1.5679	0.0910	0.0954	0.0932	
		16	1.6211	1.5603	0.0950	0.1005	0.0978	
		20	1.6146	1.5528	0.0994	0.1055	0.1024	
		24	1.6094	1.5513	0.1028	0.1065	0.1047	
เถ้าขาน้อย (SA10)	10	0	1.6907	1.6840	0.0000	0.0000	0.0000	0.0918
		6	1.6264	1.6044	0.0429	0.0531	0.0480	
		9	1.6075	1.5825	0.0555	0.0677	0.0616	
		12	1.5841	1.5630	0.0711	0.0806	0.0759	
		16	1.5595	1.5465	0.0874	0.0917	0.0896	
		20	1.5571	1.5430	0.0890	0.0940	0.0915	
		24	1.5564	1.5422	0.0895	0.0945	0.0920	
เถ้าขาน้อย (SA15)	15	0	1.6740	1.6634	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000
		6	1.5697	1.5898	0.0695	0.0490	0.0593	
		9	1.5565	1.5714	0.0784	0.0613	0.0698	
		12	1.5332	1.5505	0.0939	0.0753	0.0846	
		16	1.5119	1.5316	0.1081	0.0879	0.0980	
		20	1.5088	1.5290	0.1101	0.0896	0.0999	
		24	1.5084	1.5284	0.1105	0.0900	0.1002	

ตารางที่ ง.5(ต่อ)

ผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)	อัตรา ส่วนการ แทนที่ (ร้อยละ)	จำนวน วันที่ ทดสอบ	ค่าเฉลี่ยการวัด		การหดแบบแห้ง (ร้อยละ)			
			คู่กลาง (มม.)	คูริม (มม.)	คู่กลาง	คูริม	เฉลี่ย	ภาวะ สมดุล
เถ้าขาน้อย (SA20)	20	0	1.6744	1.6515	0.0000	0.0000	0.0000	0.1238
		6	1.5271	1.5119	0.0982	0.0930	0.0956	
		9	1.5018	1.4966	0.1151	0.1032	0.1092	
		12	1.4934	1.4918	0.1207	0.1064	0.1135	
		16	1.4826	1.4791	0.1278	0.1149	0.1214	
		20	1.4788	1.4762	0.1304	0.1168	0.1236	
		24	1.4780	1.4751	0.1309	0.1176	0.1243	

หมายเหตุ: การคำนวณค่าการหดแห้งเป็นร้อยละของความยาวแบบวัด ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$S = \frac{\Delta L}{G} \times 100$$

เมื่อ S คือ การหดแห้งทางยาว (ร้อยละ)

ΔL คือ การเปลี่ยนแปลงมิติทางยาวของตัวอย่าง (มิลลิเมตร)

G คือ ความยาวแบบวัดของก้อนตัวอย่าง เท่ากับ 150 มิลลิเมตร

ตารางที่ ง.6

ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคนกรีตบดล็อก

วัดคมูลรวม (สัญลักษณ์)		CONTROL (N0)					
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		0					
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย
แช่น้ำ 48 ชม.	คู่กลาง (มม.)	1.6902	1.6430	1.5688	1.6308	1.6114	1.6288
	คูริม (มม.)	1.6390	1.6458	1.6156	1.6800	1.8004	1.6762
	น้ำหนัก (กรัม)	6324.10	6676.40	6652.80	6560.70	6515.10	6545.82
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 1	คู่กลาง (มม.)	1.6496	1.5640	1.5296	1.5964	1.5850	1.5849
	คูริม (มม.)	1.5258	1.6162	1.5570	1.6000	1.7896	1.6177
	น้ำหนัก (กรัม)	5970.60	6321.10	6288.70	6173.40	6121.30	6175.02
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 2	คู่กลาง (มม.)	1.6342	1.5510	1.5280	1.5770	1.5840	1.5748
	คูริม (มม.)	1.5138	1.6062	1.5322	1.5762	1.7920	1.6041
	น้ำหนัก (กรัม)	5954.50	6305.50	6273.20	6162.70	6104.00	6159.98
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 3	คู่กลาง (มม.)	1.6220	1.5260	1.5016	1.5640	1.5736	1.5574
	คูริม (มม.)	1.4910	1.5884	1.5130	1.5596	1.7816	1.5867
	น้ำหนัก (กรัม)	5931.40	6279.00	6248.60	6148.20	6075.10	6136.46
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 4	คู่กลาง (มม.)	1.6140	1.5126	1.4900	1.5518	1.5684	1.5474
	คูริม (มม.)	1.4880	1.5802	1.4940	1.5400	1.7780	1.5760
	น้ำหนัก (กรัม)	5931.30	6276.20	6240.90	6142.80	6073.80	6133.00
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 5	คู่กลาง (มม.)	1.6106	1.5082	1.4880	1.5496	1.5678	1.5448
	คูริม (มม.)	1.4850	1.5798	1.4920	1.5394	1.7710	1.5734
	น้ำหนัก (กรัม)	5931.00	6274.80	6238.70	6141.80	6072.90	6131.84
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 6	คู่กลาง (มม.)	1.6102	1.5080	1.4868	1.5482	1.5670	1.5440
	คูริม (มม.)	1.4842	1.5780	1.4906	1.5394	1.7706	1.5726
	น้ำหนัก (กรัม)	5930.80	6274.40	6238.10	6141.70	6072.50	6131.50

ตารางที่ ง.6(ต่อ)

ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคนกรีตบดล็อก

วัดอุณหภูมิรวม (สัญลักษณ์)		แรดิเนบา (D10)					
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		10					
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย
แช่น้ำ 48 ชม.	คูกกลาง (มม.)	1.5950	1.6586	1.7742	1.8270	1.7568	1.7223
	คูริม (มม.)	1.7204	1.4678	1.7890	1.5616	1.5736	1.6225
	น้ำหนัก (กรัม)	6258.80	6062.80	6098.00	6185.20	6448.10	6210.58
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.4320	1.5560	1.7128	1.7558	1.6638	1.6241
	คูริม (มม.)	1.6400	1.4246	1.7222	1.4916	1.4880	1.5533
	น้ำหนัก (กรัม)	5702.30	5498.60	5564.40	5623.80	5893.60	5656.54
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.4020	1.5230	1.6980	1.7278	1.6360	1.5974
	คูริม (มม.)	1.6222	1.4180	1.6900	1.4500	1.4440	1.5248
	น้ำหนัก (กรัม)	5683.30	5486.90	5535.60	5587.80	5865.30	5631.78
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.3970	1.5144	1.6918	1.7126	1.6304	1.5892
	คูริม (มม.)	1.6060	1.4136	1.6888	1.4450	1.4382	1.5183
	น้ำหนัก (กรัม)	5660.40	5462.00	5517.40	5558.30	5847.90	5609.20
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.3948	1.4994	1.6822	1.6990	1.6250	1.5801
	คูริม (มม.)	1.6050	1.4050	1.6720	1.4346	1.4376	1.5108
	น้ำหนัก (กรัม)	5634.20	5445.80	5486.60	5545.70	5823.00	5587.06
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 5	คูกกลาง (มม.)	1.3944	1.4976	1.6784	1.6956	1.6236	1.5779
	คูริม (มม.)	1.6018	1.4022	1.6694	1.4308	1.4358	1.5080
	น้ำหนัก (กรัม)	5633.40	5444.60	5485.70	5543.90	5822.30	5585.98
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 6	คูกกลาง (มม.)	1.3936	1.4962	1.6776	1.6954	1.6230	1.5772
	คูริม (มม.)	1.6006	1.4020	1.6684	1.4302	1.4340	1.5070
	น้ำหนัก (กรัม)	5632.80	5444.10	5485.50	5542.70	5822.10	5585.44

ตารางที่ ง.6(ต่อ)

ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคนกรีตบดล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		แรตดินเบา (D15)					
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		15					
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย
แช่น้ำ 48 ชม.	คู่กลาง (มม.)	1.6900	1.6740	1.6216	1.7302	1.7036	1.6839
	คูริม (มม.)	1.7258	1.5762	1.7384	1.7032	1.7680	1.7023
	น้ำหนัก (กรัม)	5928.10	5870.30	5978.50	5977.50	5912.80	5933.44
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 1	คู่กลาง (มม.)	1.5900	1.6078	1.6042	1.6002	1.6756	1.6156
	คูริม (มม.)	1.5636	1.4440	1.6802	1.5660	1.6762	1.5860
	น้ำหนัก (กรัม)	5151.80	5179.80	5319.30	5217.40	5236.00	5220.86
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 2	คู่กลาง (มม.)	1.5898	1.5710	1.6010	1.5854	1.6158	1.5926
	คูริม (มม.)	1.5446	1.4224	1.6042	1.5658	1.6910	1.5656
	น้ำหนัก (กรัม)	5135.80	5141.80	5264.50	5202.60	5179.20	5184.78
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 3	คู่กลาง (มม.)	1.5880	1.5660	1.5924	1.5662	1.6112	1.5848
	คูริม (มม.)	1.5402	1.4122	1.5954	1.5602	1.6910	1.5598
	น้ำหนัก (กรัม)	5134.10	5121.00	5221.00	5200.20	5165.20	5168.30
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 4	คู่กลาง (มม.)	1.5804	1.5552	1.5850	1.5718	1.5962	1.5777
	คูริม (มม.)	1.5290	1.3976	1.5818	1.5586	1.6846	1.5503
	น้ำหนัก (กรัม)	5131.40	5099.90	5212.80	5199.70	5150.30	5158.82
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 5	คู่กลาง (มม.)	1.5778	1.5528	1.5840	1.5626	1.5864	1.5727
	คูริม (มม.)	1.5278	1.3958	1.5788	1.5582	1.6832	1.5488
	น้ำหนัก (กรัม)	5130.90	5098.80	5210.00	5199.30	5149.10	5157.62
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 6	คู่กลาง (มม.)	1.5762	1.5518	1.5836	1.5610	1.5860	1.5717
	คูริม (มม.)	1.5268	1.3944	1.5780	1.5580	1.6806	1.5476
	น้ำหนัก (กรัม)	5130.50	5098.60	5209.88	5199.00	5148.93	5157.38

ตารางที่ ง.6(ต่อ)

ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคนกรีตบดล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		แบริดเดอร์ (D20)					
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		20					
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย
แช่น้ำ 48 ชม.	คูกกลาง (มม.)	1.6502	1.7056	1.8420	1.7818	1.8386	1.7636
	คูริม (มม.)	1.6058	1.7542	1.6642	1.7690	1.7620	1.7110
	น้ำหนัก (กรัม)	5420.60	5685.40	5798.60	5297.00	5688.90	5578.10
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.5482	1.6378	1.7360	1.5840	1.6750	1.6362
	คูริม (มม.)	1.4824	1.6184	1.5112	1.6496	1.6608	1.5845
	น้ำหนัก (กรัม)	4530.80	4883.60	4987.20	4502.30	4884.10	4757.60
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.5262	1.6280	1.7360	1.5618	1.6830	1.6270
	คูริม (มม.)	1.4604	1.6278	1.5260	1.6538	1.6342	1.5804
	น้ำหนัก (กรัม)	4517.40	4870.20	4964.50	4495.10	4873.10	4744.06
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.5238	1.6238	1.7564	1.5566	1.6750	1.6271
	คูริม (มม.)	1.4378	1.6218	1.5140	1.6458	1.6200	1.5679
	น้ำหนัก (กรัม)	4488.10	4851.20	4942.60	4478.20	4851.70	4722.36
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.5236	1.6152	1.7544	1.5518	1.6604	1.6211
	คูริม (มม.)	1.4346	1.6034	1.5096	1.6394	1.6144	1.5603
	น้ำหนัก (กรัม)	4480.20	4835.60	4934.10	4468.40	4847.50	4713.16
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 5	คูกกลาง (มม.)	1.5160	1.6116	1.7544	1.5384	1.6526	1.6146
	คูริม (มม.)	1.4214	1.5962	1.5082	1.6282	1.6102	1.5528
	น้ำหนัก (กรัม)	4477.70	4829.80	4929.70	4466.60	4839.50	4708.66
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 6	คูกกลาง (มม.)	1.5122	1.6098	1.7540	1.5230	1.6480	1.6094
	คูริม (มม.)	1.4186	1.5944	1.5078	1.6258	1.6098	1.5513
	น้ำหนัก (กรัม)	4477.70	4829.20	4928.90	4466.50	4839.10	4708.28

ตารางที่ ง.6(ต่อ)

ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคนกรีตบดล็อก

วัดคูลรวม (สัญลักษณ์)		เก้าชาน้อย (SA10)					
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		10					
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย
แช่น้ำ 48 ชม.	คูกกลาง (มม.)	1.7152	1.6510	1.7800	1.6228	1.6844	1.6907
	คูริม (มม.)	1.5572	1.7826	1.7324	1.7332	1.6146	1.6840
	น้ำหนัก (กรัม)	6427.30	6593.00	6411.10	6205.00	6117.40	6350.76
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.6180	1.6060	1.6870	1.5790	1.6418	1.6264
	คูริม (มม.)	1.4984	1.6442	1.6090	1.6886	1.5816	1.6044
	น้ำหนัก (กรัม)	5595.90	5895.20	5698.80	5358.00	5277.00	5564.98
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.5890	1.5952	1.6660	1.5582	1.6290	1.6075
	คูริม (มม.)	1.4680	1.6282	1.5850	1.6736	1.5578	1.5825
	น้ำหนัก (กรัม)	5574.10	5873.40	5674.00	5335.90	5256.60	5542.80
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.5610	1.5740	1.6424	1.5372	1.6058	1.5841
	คูริม (มม.)	1.4424	1.6078	1.5600	1.6710	1.5340	1.5630
	น้ำหนัก (กรัม)	5572.70	5872.20	5660.70	5334.30	5255.20	5539.02
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.5296	1.5536	1.6182	1.5152	1.5810	1.5595
	คูริม (มม.)	1.4376	1.6030	1.5220	1.6658	1.5040	1.5465
	น้ำหนัก (กรัม)	5570.10	5871.90	5659.00	5333.10	5251.50	5537.12
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 5	คูกกลาง (มม.)	1.5252	1.5524	1.6146	1.5138	1.5796	1.5571
	คูริม (มม.)	1.4372	1.5984	1.5210	1.6598	1.4988	1.5430
	น้ำหนัก (กรัม)	5570.00	5870.00	5658.80	5332.70	5251.40	5536.58
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 6	คูกกลาง (มม.)	1.5244	1.5520	1.6138	1.5128	1.5792	1.5564
	คูริม (มม.)	1.4362	1.5984	1.5200	1.6586	1.4980	1.5422
	น้ำหนัก (กรัม)	5569.80	5869.60	5658.60	5332.30	5251.20	5536.30

ตารางที่ ง.6(ต่อ)

ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคนกรีตบดล็อก

วัดอุณหภูมิรวม (สัญลักษณ์)		เก้าชาน้อย (SA15)					
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		15					
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย
แช่น้ำ 48 ชม.	คูกกลาง (มม.)	1.6060	1.6800	1.6682	1.6940	1.7220	1.6740
	คูริม (มม.)	1.6968	1.7040	1.7210	1.5482	1.6470	1.6634
	น้ำหนัก (กรัม)	6050.40	5939.30	6323.00	5773.30	5964.50	6010.10
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.5780	1.5364	1.5544	1.5560	1.6238	1.5697
	คูริม (มม.)	1.5898	1.6680	1.6480	1.4702	1.5732	1.5898
	น้ำหนัก (กรัม)	5352.70	5207.20	5601.70	5030.10	5280.60	5294.46
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.5662	1.5220	1.5480	1.5338	1.6124	1.5565
	คูริม (มม.)	1.5584	1.6600	1.6344	1.4604	1.5440	1.5714
	น้ำหนัก (กรัม)	5342.80	5190.70	5574.20	5019.90	5266.20	5278.76
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.5440	1.4976	1.5280	1.5036	1.5928	1.5332
	คูริม (มม.)	1.5416	1.6478	1.6080	1.4340	1.5210	1.5505
	น้ำหนัก (กรัม)	5315.30	5167.30	5539.50	4986.80	5235.20	5248.82
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.5224	1.4704	1.5148	1.4800	1.5718	1.5119
	คูริม (มม.)	1.5038	1.6330	1.5928	1.4162	1.5120	1.5316
	น้ำหนัก (กรัม)	5296.30	5144.90	5527.30	4969.50	5225.80	5232.76
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 5	คูกกลาง (มม.)	1.5206	1.4630	1.5112	1.4778	1.5716	1.5088
	คูริม (มม.)	1.5018	1.6328	1.5860	1.4138	1.5106	1.5290
	น้ำหนัก (กรัม)	5296.00	5142.50	5526.90	4967.80	5225.50	5231.74
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 6	คูกกลาง (มม.)	1.5200	1.4626	1.5104	1.4772	1.5716	1.5084
	คูริม (มม.)	1.5008	1.6324	1.5856	1.4134	1.5096	1.5284
	น้ำหนัก (กรัม)	5294.40	5142.10	5526.70	4967.20	5225.10	5231.10

ตารางที่ ง.6(ต่อ)

ข้อมูลผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคนกรีตบดล็อก

วัดอุณหภูมิรวม (สัญลักษณ์)		เก้าชานอ้อย (SA20)					
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		20					
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย
แช่น้ำ 48 ชม.	คูกกลาง (มม.)	1.6566	1.7886	1.5690	1.6984	1.6594	1.6744
	คูริม (มม.)	1.5892	1.6932	1.6486	1.5782	1.7482	1.6515
	น้ำหนัก (กรัม)	6363.40	5880.20	8534.30	6122.80	5920.40	6564.22
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.4698	1.6838	1.4252	1.5656	1.4910	1.5271
	คูริม (มม.)	1.4586	1.5476	1.5050	1.4446	1.6038	1.5119
	น้ำหนัก (กรัม)	5475.70	5051.50	4846.50	5120.60	4966.30	5092.12
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.4350	1.6640	1.4010	1.5448	1.4640	1.5018
	คูริม (มม.)	1.4398	1.5224	1.4976	1.4422	1.5812	1.4966
	น้ำหนัก (กรัม)	5433.90	5025.40	4815.20	5094.50	4940.20	5061.84
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.4058	1.6600	1.4004	1.5370	1.4638	1.4934
	คูริม (มม.)	1.4350	1.5170	1.4922	1.4408	1.5742	1.4918
	น้ำหนัก (กรัม)	5433.30	5025.00	4814.90	5093.90	4939.30	5061.28
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.3890	1.6556	1.3944	1.5240	1.4502	1.4826
	คูริม (มม.)	1.4226	1.5060	1.4618	1.4340	1.5712	1.4791
	น้ำหนัก (กรัม)	5432.60	5023.80	4814.20	5093.20	4938.40	5060.44
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 5	คูกกลาง (มม.)	1.3880	1.6504	1.3884	1.5218	1.4456	1.4788
	คูริม (มม.)	1.4202	1.4992	1.4596	1.4324	1.5698	1.4762
	น้ำหนัก (กรัม)	5432.30	5022.20	4813.50	5093.00	4938.30	5059.86
อบแห้ง 50 C° ครั้งที่ 6	คูกกลาง (มม.)	1.3872	1.6498	1.3870	1.5208	1.4452	1.4780
	คูริม (มม.)	1.4190	1.4980	1.4594	1.4310	1.5680	1.4751
	น้ำหนัก (กรัม)	5432.00	5021.90	4813.40	5092.70	4937.80	5059.56

ตารางที่ ง.7

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุผสมรวม (สัญลักษณ์)		CONTROL (N0)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		0				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
ข้อมูลก่อนการ ทดสอบ	คูกกลาง (มม.)	1.645	1.590	1.540	1.592	1.580
	คูริม (มม.)	1.537	1.616	1.550	1.568	
	น้ำหนัก (กรัม)	6112.10	6454.20	6446.30	6337.53	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.652	1.621	1.543	1.606	1.591
	คูริม (มม.)	1.543	1.627	1.558	1.576	
	น้ำหนัก (กรัม)	6271.20	6624.40	6605.20	6500.27	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.642	1.523	1.522	1.562	1.539
	คูริม (มม.)	1.466	1.604	1.476	1.515	
	น้ำหนัก (กรัม)	5892.00	6227.60	6194.50	6104.70	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.690	1.536	1.534	1.587	1.559
	คูริม (มม.)	1.490	1.641	1.462	1.531	
	น้ำหนัก (กรัม)	6256.10	6606.30	6588.30	6483.57	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.675	1.505	1.497	1.559	1.540
	คูริม (มม.)	1.484	1.624	1.454	1.520	
	น้ำหนัก (กรัม)	5905.00	6242.60	6209.10	6118.90	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.702	1.534	1.521	1.586	1.561
	คูริม (มม.)	1.497	1.653	1.459	1.537	
	น้ำหนัก (กรัม)	6253.50	6604.90	6580.00	6479.47	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.674	1.502	1.494	1.557	1.537
	คูริม (มม.)	1.478	1.629	1.448	1.518	
	น้ำหนัก (กรัม)	5908.10	6243.90	6216.50	6122.83	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.705	1.530	1.521	1.585	1.562
	คูริม (มม.)	1.501	1.656	1.461	1.539	
	น้ำหนัก (กรัม)	6258.90	6606.60	6582.90	6482.80	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.674	1.471	1.450	1.532	1.515
	คูริม (มม.)	1.455	1.625	1.415	1.498	
	น้ำหนัก (กรัม)	5889.50	6220.30	6189.50	6099.77	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัดมวลรวม (สัญลักษณ์)		CONTROL (N0)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		0				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 5	คู่กลาง (มม.)	1.716	1.505	1.514	1.578	1.559
	คูริม (มม.)	1.494	1.674	1.450	1.539	
	น้ำหนัก (กรัม)	6258.00	6608.70	6591.20	6485.97	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 5	คู่กลาง (มม.)	1.691	1.433	1.476	1.533	1.526
	คูริม (มม.)	1.470	1.656	1.432	1.519	
	น้ำหนัก (กรัม)	5883.60	6218.70	6187.60	6096.63	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 6	คู่กลาง (มม.)	1.732	1.474	1.527	1.577	1.563
	คูริม (มม.)	1.494	1.698	1.454	1.549	
	น้ำหนัก (กรัม)	6266.30	6612.60	6593.70	6490.87	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 6	คู่กลาง (มม.)	1.714	1.422	1.515	1.550	1.537
	คูริม (มม.)	1.472	1.674	1.424	1.523	
	น้ำหนัก (กรัม)	5886.50	6222.40	6190.20	6099.70	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 7	คู่กลาง (มม.)	1.758	1.462	1.581	1.600	1.579
	คูริม (มม.)	1.496	1.711	1.466	1.558	
	น้ำหนัก (กรัม)	6256.90	6606.40	6582.90	6482.07	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 7	คู่กลาง (มม.)	1.748	1.395	1.561	1.568	1.550
	คูริม (มม.)	1.462	1.683	1.448	1.531	
	น้ำหนัก (กรัม)	5886.90	6218.00	6193.60	6099.50	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 8	คู่กลาง (มม.)	1.782	1.441	1.632	1.618	1.591
	คูริม (มม.)	1.482	1.728	1.483	1.564	
	น้ำหนัก (กรัม)	6270.70	6595.00	6600.00	6488.57	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 8	คู่กลาง (มม.)	1.759	1.407	1.590	1.586	1.566
	คูริม (มม.)	1.473	1.704	1.463	1.547	
	น้ำหนัก (กรัม)	5905.20	6220.30	6201.80	6109.10	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		CONTROL (N0)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		0				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 9	คู่กลาง (มม.)	1.796	1.448	1.645	1.630	1.602
	คูริม (มม.)	1.486	1.740	1.495	1.574	
	น้ำหนัก (กรัม)	6273.20	6589.80	6613.40	6492.13	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 9	คู่กลาง (มม.)	1.740	1.411	1.610	1.587	1.567
	คูริม (มม.)	1.458	1.702	1.478	1.546	
	น้ำหนัก (กรัม)	5894.00	6204.20	6200.00	6099.40	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 10	คู่กลาง (มม.)	1.790	1.460	1.634	1.628	1.599
	คูริม (มม.)	1.498	1.728	1.484	1.570	
	น้ำหนัก (กรัม)	6262.40	6582.40	6593.40	6479.40	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 10	คู่กลาง (มม.)	1.740	1.411	1.585	1.579	1.566
	คูริม (มม.)	1.462	1.724	1.476	1.554	
	น้ำหนัก (กรัม)	5909.90	6219.30	6219.00	6116.07	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 11	คู่กลาง (มม.)	1.787	1.450	1.624	1.620	1.596
	คูริม (มม.)	1.480	1.738	1.498	1.572	
	น้ำหนัก (กรัม)	6259.90	6586.10	6594.70	6480.23	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 11	คู่กลาง (มม.)	1.760	1.391	1.612	1.587	1.564
	คูริม (มม.)	1.437	1.713	1.472	1.541	
	น้ำหนัก (กรัม)	5892.00	6197.20	6195.60	6094.93	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 12	คู่กลาง (มม.)	1.793	1.454	1.626	1.624	1.596
	คูริม (มม.)	1.492	1.728	1.481	1.567	
	น้ำหนัก (กรัม)	6264.20	6585.50	6594.30	6481.33	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 12	คู่กลาง (มม.)	1.746	1.400	1.596	1.581	1.559
	คูริม (มม.)	1.443	1.707	1.462	1.537	
	น้ำหนัก (กรัม)	5910.40	6220.50	6220.00	6116.97	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุผสมรวม (สัญลักษณ์)		แร่ดินเบา (D10)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		10				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
ข้อมูลก่อนการ ทดสอบ	คู่กลาง (มม.)	1.511	1.542	1.704	1.586	1.586
	คูริม (มม.)	1.652	1.386	1.719	1.586	
	น้ำหนัก (กรัม)	6052.10	5856.70	5844.10	5917.63	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 1	คู่กลาง (มม.)	1.512	1.555	1.714	1.594	1.599
	คูริม (มม.)	1.663	1.391	1.758	1.604	
	น้ำหนัก (กรัม)	6269.50	6065.40	6093.60	6142.83	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 1	คู่กลาง (มม.)	1.420	1.382	1.664	1.489	1.487
	คูริม (มม.)	1.565	1.324	1.570	1.486	
	น้ำหนัก (กรัม)	5607.00	5413.50	5463.90	5494.80	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 2	คู่กลาง (มม.)	1.474	1.442	1.731	1.549	1.548
	คูริม (มม.)	1.622	1.386	1.635	1.548	
	น้ำหนัก (กรัม)	6215.40	6015.90	6059.50	6096.93	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 2	คู่กลาง (มม.)	1.422	1.402	1.708	1.511	1.505
	คูริม (มม.)	1.586	1.354	1.560	1.500	
	น้ำหนัก (กรัม)	5614.50	5423.40	5470.10	5502.67	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 3	คู่กลาง (มม.)	1.474	1.458	1.763	1.565	1.556
	คูริม (มม.)	1.630	1.396	1.614	1.547	
	น้ำหนัก (กรัม)	6212.30	6010.60	6049.20	6090.70	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 3	คู่กลาง (มม.)	1.422	1.384	1.716	1.507	1.496
	คูริม (มม.)	1.576	1.354	1.522	1.484	
	น้ำหนัก (กรัม)	5587.20	5398.40	5447.60	5477.73	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 4	คู่กลาง (มม.)	1.481	1.427	1.782	1.563	1.548
	คูริม (มม.)	1.621	1.400	1.579	1.534	
	น้ำหนัก (กรัม)	6215.50	6011.10	6052.90	6093.17	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 4	คู่กลาง (มม.)	1.460	1.341	1.769	1.523	1.495
	คูริม (มม.)	1.550	1.380	1.470	1.467	
	น้ำหนัก (กรัม)	5581.90	5394.30	5443.70	5473.30	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		แร่ดินเบา (D10)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		10				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 5	คู่กลาง (มม.)	1.496	1.390	1.816	1.567	1.536
	คูริม (มม.)	1.596	1.415	1.506	1.505	
	น้ำหนัก (กรัม)	6217.30	6013.10	6053.70	6094.70	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 5	คู่กลาง (มม.)	1.470	1.367	1.808	1.548	1.501
	คูริม (มม.)	1.532	1.395	1.434	1.454	
	น้ำหนัก (กรัม)	5581.40	5395.80	5439.70	5472.30	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 6	คู่กลาง (มม.)	1.496	1.404	1.836	1.579	1.527
	คูริม (มม.)	1.561	1.414	1.451	1.475	
	น้ำหนัก (กรัม)	6215.40	6014.00	6057.20	6095.53	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 6	คู่กลาง (มม.)	1.471	1.398	1.820	1.563	1.511
	คูริม (มม.)	1.541	1.400	1.434	1.458	
	น้ำหนัก (กรัม)	5610.10	5418.90	5468.60	5499.2	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 7	คู่กลาง (มม.)	1.494	1.418	1.839	1.584	1.532
	คูริม (มม.)	1.566	1.419	1.456	1.480	
	น้ำหนัก (กรัม)	6214.60	6007.60	6045.10	6089.10	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 7	คู่กลาง (มม.)	1.473	1.417	1.819	1.570	1.519
	คูริม (มม.)	1.552	1.411	1.444	1.469	
	น้ำหนัก (กรัม)	5618.80	5424.90	5471.50	5505.07	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 8	คู่กลาง (มม.)	1.492	1.430	1.838	1.587	1.536
	คูริม (มม.)	1.568	1.423	1.464	1.485	
	น้ำหนัก (กรัม)	6223.60	6018.20	6057.50	6099.77	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 8	คู่กลาง (มม.)	1.458	1.428	1.815	1.567	1.510
	คูริม (มม.)	1.516	1.422	1.420	1.453	
	น้ำหนัก (กรัม)	5585.30	5399.00	5446.70	5477.00	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		แร่ดินเบา (D10)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		10				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 9	คู่กลาง (มม.)	1.466	1.460	1.840	1.589	1.529
	คูริม (มม.)	1.556	1.462	1.389	1.469	
	น้ำหนัก (กรัม)	6220.20	6020.90	6059.20	6100.10	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 9	คู่กลาง (มม.)	1.450	1.458	1.827	1.578	1.517
	คูริม (มม.)	1.535	1.459	1.370	1.455	
	น้ำหนัก (กรัม)	5612.00	5418.60	5469.50	5500.03	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 10	คู่กลาง (มม.)	1.466	1.464	1.844	1.591	1.535
	คูริม (มม.)	1.570	1.470	1.394	1.478	
	น้ำหนัก (กรัม)	6216.30	6005.60	6070.40	6097.43	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 10	คู่กลาง (มม.)	1.425	1.463	1.814	1.567	1.512
	คูริม (มม.)	1.541	1.461	1.368	1.457	
	น้ำหนัก (กรัม)	5587.10	5396.80	5448.70	5477.53	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 11	คู่กลาง (มม.)	1.443	1.471	1.822	1.579	1.530
	คูริม (มม.)	1.568	1.476	1.400	1.481	
	น้ำหนัก (กรัม)	6220.00	6014.00	6054.10	6096.03	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 11	คู่กลาง (มม.)	1.434	1.470	1.776	1.560	1.515
	คูริม (มม.)	1.553	1.472	1.386	1.470	
	น้ำหนัก (กรัม)	5609.90	5413.30	5462.90	5495.37	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 12	คู่กลาง (มม.)	1.442	1.476	1.792	1.570	1.531
	คูริม (มม.)	1.588	1.484	1.407	1.493	
	น้ำหนัก (กรัม)	6214.70	6009.30	6053.60	6092.53	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 12	คู่กลาง (มม.)	1.404	1.458	1.765	1.543	1.503
	คูริม (มม.)	1.542	1.460	1.386	1.463	
	น้ำหนัก (กรัม)	5590.40	5398.60	5446.10	5478.37	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุผสมรวม (สัญลักษณ์)		แร่ดินเบา (D15)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		15				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
ข้อมูลก่อนการ ทดสอบ	คูกกลาง (มม.)	1.628	1.896	1.580	1.701	1.634
	คูริม (มม.)	1.611	1.436	1.650	1.566	
	น้ำหนัก (กรัม)	5666.50	5523.50	5718.00	5636.00	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.642	1.903	1.602	1.716	1.647
	คูริม (มม.)	1.622	1.450	1.664	1.579	
	น้ำหนัก (กรัม)	5908.80	5826.00	5962.80	5899.20	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.566	1.854	1.600	1.674	1.561
	คูริม (มม.)	1.478	1.284	1.582	1.448	
	น้ำหนัก (กรัม)	5119.40	5038.90	5175.20	5111.17	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.638	1.893	1.650	1.727	1.612
	คูริม (มม.)	1.515	1.338	1.639	1.497	
	น้ำหนัก (กรัม)	5829.00	5742.70	5883.20	5818.30	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.592	1.863	1.625	1.693	1.572
	คูริม (มม.)	1.445	1.308	1.598	1.450	
	น้ำหนัก (กรัม)	5124.50	5041.60	5180.10	5115.40	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.656	1.894	1.660	1.737	1.611
	คูริม (มม.)	1.478	1.338	1.642	1.486	
	น้ำหนัก (กรัม)	5813.10	5735.70	5876.40	5808.40	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.598	1.825	1.644	1.689	1.554
	คูริม (มม.)	1.381	1.270	1.605	1.419	
	น้ำหนัก (กรัม)	5095.40	5028.90	5150.10	5091.47	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.642	1.870	1.687	1.733	1.600
	คูริม (มม.)	1.424	1.314	1.664	1.467	
	น้ำหนัก (กรัม)	5791.40	5734.20	5846.50	5790.70	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.636	1.852	1.658	1.716	1.572
	คูริม (มม.)	1.362	1.282	1.640	1.428	
	น้ำหนัก (กรัม)	5090.10	5037.90	5146.80	5091.60	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบดล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		แร่ดินเบา (D15)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		15				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 5	คู่กลาง (มม.)	1.666	1.880	1.684	1.743	1.611
	คูริม (มม.)	1.414	1.324	1.696	1.478	
	น้ำหนัก (กรัม)	5791.60	5737.20	5851.20	5793.33	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 5	คู่กลาง (มม.)	1.624	1.838	1.652	1.705	1.582
	คูริม (มม.)	1.408	1.313	1.655	1.459	
	น้ำหนัก (กรัม)	5087.70	5031.30	5141.50	5086.83	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 6	คู่กลาง (มม.)	1.652	1.863	1.678	1.731	1.620
	คูริม (มม.)	1.462	1.356	1.707	1.509	
	น้ำหนัก (กรัม)	5804.40	5752.50	5865.60	5807.50	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 6	คู่กลาง (มม.)	1.617	1.848	1.655	1.707	1.594
	คูริม (มม.)	1.438	1.330	1.676	1.481	
	น้ำหนัก (กรัม)	5108.20	5051.00	5161.60	5106.93	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 7	คู่กลาง (มม.)	1.638	1.872	1.674	1.728	1.619
	คูริม (มม.)	1.464	1.356	1.709	1.510	
	น้ำหนัก (กรัม)	5788.10	5741.50	5855.30	5794.97	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 7	คู่กลาง (มม.)	1.610	1.867	1.660	1.712	1.604
	คูริม (มม.)	1.451	1.346	1.690	1.496	
	น้ำหนัก (กรัม)	5107.90	5050.20	5163.50	5107.20	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 8	คู่กลาง (มม.)	1.624	1.869	1.670	1.721	1.619
	คูริม (มม.)	1.473	1.366	1.712	1.517	
	น้ำหนัก (กรัม)	5805.50	5755.30	5862.50	5807.77	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 8	คู่กลาง (มม.)	1.562	1.844	1.637	1.681	1.578
	คูริม (มม.)	1.442	1.320	1.666	1.476	
	น้ำหนัก (กรัม)	5092.00	5038.80	5145.20	5092.00	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบดล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		แร่ดินเบา (D15)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		15				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 9	คู่กลาง (มม.)	1.607	1.878	1.668	1.718	1.617
	คูริม (มม.)	1.468	1.357	1.724	1.516	
	น้ำหนัก (กรัม)	5798.00	5748.70	5859.60	5802.10	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 9	คู่กลาง (มม.)	1.576	1.866	1.639	1.693	1.592
	คูริม (มม.)	1.452	1.329	1.688	1.490	
	น้ำหนัก (กรัม)	5087.20	5032.40	5141.70	5087.10	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 10	คู่กลาง (มม.)	1.600	1.866	1.660	1.709	1.611
	คูริม (มม.)	1.455	1.354	1.732	1.514	
	น้ำหนัก (กรัม)	5807.20	5751.30	5857.50	5805.33	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 10	คู่กลาง (มม.)	1.567	1.864	1.638	1.690	1.590
	คูริม (มม.)	1.433	1.324	1.713	1.490	
	น้ำหนัก (กรัม)	5082.80	5029.40	5137.30	5083.17	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 11	คู่กลาง (มม.)	1.588	1.873	1.654	1.705	1.612
	คูริม (มม.)	1.449	1.364	1.745	1.520	
	น้ำหนัก (กรัม)	5811.00	5775.80	5868.00	5818.27	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 11	คู่กลาง (มม.)	1.573	1.865	1.638	1.692	1.597
	คูริม (มม.)	1.430	1.354	1.724	1.502	
	น้ำหนัก (กรัม)	5100.60	5044.20	5154.00	5099.60	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 12	คู่กลาง (มม.)	1.594	1.852	1.652	1.699	1.614
	คูริม (มม.)	1.446	1.379	1.761	1.529	
	น้ำหนัก (กรัม)	5806.50	5757.80	5855.60	5806.63	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 12	คู่กลาง (มม.)	1.580	1.844	1.620	1.681	1.590
	คูริม (มม.)	1.420	1.354	1.723	1.499	
	น้ำหนัก (กรัม)	5099.70	5042.80	5154.50	5099.00	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุผสมรวม (สัญลักษณ์)		แร่ดินเบา (D20)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		20				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
ข้อมูลก่อนการ ทดสอบ	คูกกลาง (มม.)	1.744	1.685	1.829	1.753	1.689
	คูริม (มม.)	1.553	1.700	1.622	1.625	
	น้ำหนัก (กรัม)	5085.70	5419.40	5540.90	5348.67	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.755	1.688	1.850	1.765	1.704
	คูริม (มม.)	1.579	1.714	1.636	1.643	
	น้ำหนัก (กรัม)	5327.80	5646.50	5774.70	5583.00	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.738	1.645	1.796	1.727	1.635
	คูริม (มม.)	1.547	1.614	1.470	1.544	
	น้ำหนัก (กรัม)	4433.80	4790.80	4884.60	4703.07	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.752	1.688	1.980	1.807	1.712
	คูริม (มม.)	1.608	1.676	1.564	1.616	
	น้ำหนัก (กรัม)	5243.80	5563.60	5670.80	5492.73	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.660	1.653	2.044	1.786	1.666
	คูริม (มม.)	1.588	1.656	1.393	1.545	
	น้ำหนัก (กรัม)	4428.40	4782.40	4878.10	4696.30	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.722	1.719	2.117	1.852	1.736
	คูริม (มม.)	1.659	1.726	1.474	1.620	
	น้ำหนัก (กรัม)	5236.00	5546.40	5653.30	5478.57	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.667	1.666	2.050	1.794	1.689
	คูริม (มม.)	1.630	1.696	1.425	1.584	
	น้ำหนัก (กรัม)	4428.30	4781.60	4873.40	4694.43	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.720	1.726	2.104	1.850	1.748
	คูริม (มม.)	1.691	1.757	1.493	1.647	
	น้ำหนัก (กรัม)	5244.00	5557.60	5668.10	5489.90	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.676	1.692	2.089	1.819	1.711
	คูริม (มม.)	1.646	1.712	1.449	1.602	
	น้ำหนัก (กรัม)	4422.60	4778.80	4868.50	4689.97	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		แร่ดินเบา (D20)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		20				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 5	คู่กลาง (มม.)	1.734	1.742	2.150	1.875	1.767
	คูริม (มม.)	1.683	1.775	1.516	1.658	
	น้ำหนัก (กรัม)	5247.20	5566.30	5670.70	5494.73	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 5	คู่กลาง (มม.)	1.666	1.717	2.081	1.822	1.723
	คูริม (มม.)	1.681	1.722	1.472	1.625	
	น้ำหนัก (กรัม)	4418.80	4775.10	4863.30	4685.73	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 6	คู่กลาง (มม.)	1.705	1.773	2.172	1.883	1.785
	คูริม (มม.)	1.752	1.782	1.527	1.687	
	น้ำหนัก (กรัม)	5244.40	5569.60	5670.30	5494.77	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 6	คู่กลาง (มม.)	1.622	1.725	2.098	1.815	1.730
	คูริม (มม.)	1.712	1.740	1.483	1.645	
	น้ำหนัก (กรัม)	4428.70	4786.40	4877.30	4697.47	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 7	คู่กลาง (มม.)	1.678	1.772	2.172	1.874	1.786
	คูริม (มม.)	1.778	1.781	1.534	1.698	
	น้ำหนัก (กรัม)	5188.20	5553.90	5667.40	5469.83	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 7	คู่กลาง (มม.)	1.633	1.730	2.095	1.819	1.734
	คูริม (มม.)	1.716	1.745	1.486	1.649	
	น้ำหนัก (กรัม)	4406.70	4790.00	4877.70	4691.47	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 8	คู่กลาง (มม.)	1.680	1.779	2.167	1.875	1.789
	คูริม (มม.)	1.786	1.788	1.534	1.703	
	น้ำหนัก (กรัม)	5163.80	5566.90	5675.90	5468.87	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 8	คู่กลาง (มม.)	1.625	1.738	2.078	1.814	1.734
	คูริม (มม.)	1.735	1.725	1.502	1.654	
	น้ำหนัก (กรัม)	4385.10	4775.60	4858.20	4672.97	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		แร่ดินเบา (D20)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		20				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 9	คู่กลาง (มม.)	1.694	1.799	2.141	1.878	1.793
	คูริม (มม.)	1.787	1.782	1.556	1.708	
	น้ำหนัก (กรัม)	5147.80	5576.40	5681.10	5468.43	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 9	คู่กลาง (มม.)	1.632	1.758	2.084	1.825	1.743
	คูริม (มม.)	1.737	1.728	1.518	1.661	
	น้ำหนัก (กรัม)	4392.00	4786.60	4871.30	4683.30	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 10	คู่กลาง (มม.)	1.712	1.814	2.133	1.886	1.805
	คูริม (มม.)	1.792	1.809	1.569	1.723	
	น้ำหนัก (กรัม)	5148.40	5575.40	5664.40	5462.73	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 10	คู่กลาง (มม.)	1.643	1.750	2.095	1.829	1.745
	คูริม (มม.)	1.721	1.728	1.535	1.661	
	น้ำหนัก (กรัม)	4377.20	4772.40	4854.50	4668.03	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 11	คู่กลาง (มม.)	1.694	1.816	2.138	1.883	1.806
	คูริม (มม.)	1.788	1.804	1.594	1.729	
	น้ำหนัก (กรัม)	5136.60	5572.20	5663.10	5457.30	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 11	คู่กลาง (มม.)	1.647	1.768	2.110	1.842	1.755
	คูริม (มม.)	1.727	1.728	1.550	1.668	
	น้ำหนัก (กรัม)	4373.10	4778.70	4860.70	4670.83	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 12	คู่กลาง (มม.)	1.706	1.828	2.148	1.894	1.814
	คูริม (มม.)	1.780	1.817	1.607	1.735	
	น้ำหนัก (กรัม)	5118.70	5555.00	5657.30	5443.67	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 12	คู่กลาง (มม.)	1.656	1.761	2.112	1.843	1.758
	คูริม (มม.)	1.724	1.736	1.555	1.672	
	น้ำหนัก (กรัม)	4361.60	4778.00	4855.60	4665.07	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุผสมรวม (สัญลักษณ์)		เก้าชานอ้อย (SA10)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		10				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
ข้อมูลก่อนการ ทดสอบ	คูกกลาง (มม.)	1.600	1.591	1.677	1.623	1.611
	คูริม (มม.)	1.491	1.682	1.623	1.599	
	น้ำหนัก (กรัม)	6176.90	6317.20	6174.90	6223.00	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.607	1.598	1.680	1.628	1.619
	คูริม (มม.)	1.499	1.697	1.634	1.610	
	น้ำหนัก (กรัม)	6443.10	6579.30	6383.50	6468.63	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.501	1.547	1.596	1.548	1.518
	คูริม (มม.)	1.404	1.573	1.486	1.487	
	น้ำหนัก (กรัม)	5558.90	5865.20	5660.40	5694.83	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.536	1.588	1.620	1.581	1.548
	คูริม (มม.)	1.431	1.626	1.489	1.515	
	น้ำหนัก (กรัม)	6330.90	6511.70	6313.20	6385.27	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.460	1.557	1.517	1.511	1.454
	คูริม (มม.)	1.330	1.530	1.333	1.398	
	น้ำหนัก (กรัม)	5541.40	5845.60	5641.90	5676.30	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.509	1.603	1.567	1.560	1.500
	คูริม (มม.)	1.376	1.584	1.359	1.440	
	น้ำหนัก (กรัม)	6323.90	6506.60	6310.70	6380.40	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.467	1.572	1.529	1.523	1.460
	คูริม (มม.)	1.338	1.548	1.306	1.397	
	น้ำหนัก (กรัม)	5544.00	5848.20	5644.00	5678.73	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.504	1.604	1.562	1.557	1.492
	คูริม (มม.)	1.372	1.594	1.315	1.427	
	น้ำหนัก (กรัม)	6322.70	6510.20	6309.60	6380.83	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.478	1.578	1.554	1.537	1.470
	คูริม (มม.)	1.341	1.553	1.315	1.403	
	น้ำหนัก (กรัม)	5569.30	5870.00	5665.90	5701.73	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		เก้าชาน้อย (SA10)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		10				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 5	คู่กลาง (มม.)	1.517	1.608	1.568	1.564	1.500
	คูริม (มม.)	1.376	1.612	1.319	1.436	
	น้ำหนัก (กรัม)	6339.10	6529.90	6329.90	6399.63	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 5	คู่กลาง (มม.)	1.477	1.576	1.543	1.532	1.470
	คูริม (มม.)	1.342	1.586	1.294	1.407	
	น้ำหนัก (กรัม)	5570.20	5870.60	5667.70	5702.83	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 6	คู่กลาง (มม.)	1.507	1.597	1.570	1.558	1.496
	คูริม (มม.)	1.370	1.618	1.314	1.434	
	น้ำหนัก (กรัม)	6327.00	6516.30	6319.20	6387.50	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 6	คู่กลาง (มม.)	1.428	1.544	1.521	1.498	1.443
	คูริม (มม.)	1.328	1.580	1.258	1.388	
	น้ำหนัก (กรัม)	5542.20	5842.60	5640.80	5675.20	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 7	คู่กลาง (มม.)	1.466	1.570	1.553	1.530	1.477
	คูริม (มม.)	1.354	1.616	1.304	1.425	
	น้ำหนัก (กรัม)	6323.70	6507.80	6308.00	6379.83	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 7	คู่กลาง (มม.)	1.432	1.545	1.526	1.501	1.449
	คูริม (มม.)	1.301	1.596	1.296	1.398	
	น้ำหนัก (กรัม)	5541.00	5840.80	5638.60	5673.47	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 8	คู่กลาง (มม.)	1.466	1.581	1.566	1.538	1.483
	คูริม (มม.)	1.328	1.627	1.328	1.428	
	น้ำหนัก (กรัม)	6333.30	6523.10	6319.10	6391.83	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 8	คู่กลาง (มม.)	1.420	1.581	1.481	1.494	1.447
	คูริม (มม.)	1.289	1.608	1.303	1.400	
	น้ำหนัก (กรัม)	5548.00	5847.00	5646.00	5680.33	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบดล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		เก้าชาน้อย (SA10)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		10				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 9	คูกกลาง (มม.)	1.468	1.614	1.521	1.534	1.481
	คูริม (มม.)	1.308	1.644	1.330	1.427	
	น้ำหนัก (กรัม)	6339.80	6518.60	6315.40	6391.27	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 9	คูกกลาง (มม.)	1.452	1.614	1.400	1.489	1.443
	คูริม (มม.)	1.241	1.626	1.324	1.397	
	น้ำหนัก (กรัม)	5544.20	5847.70	5643.80	5678.57	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 10	คูกกลาง (มม.)	1.475	1.614	1.416	1.502	1.470
	คูริม (มม.)	1.306	1.658	1.352	1.439	
	น้ำหนัก (กรัม)	6327.50	6505.30	6308.80	6380.53	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 10	คูกกลาง (มม.)	1.416	1.614	1.408	1.479	1.445
	คูริม (มม.)	1.236	1.648	1.348	1.411	
	น้ำหนัก (กรัม)	5357.00	5872.90	5667.80	5632.57	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 11	คูกกลาง (มม.)	1.475	1.617	1.416	1.502	1.473
	คูริม (มม.)	1.304	1.668	1.358	1.443	
	น้ำหนัก (กรัม)	6112.70	6512.00	6312.00	6312.23	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 11	คูกกลาง (มม.)	1.415	1.597	1.392	1.468	1.442
	คูริม (มม.)	1.238	1.650	1.358	1.415	
	น้ำหนัก (กรัม)	5316.10	5842.30	5638.20	5598.87	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 12	คูกกลาง (มม.)	1.463	1.603	1.414	1.494	1.476
	คูริม (มม.)	1.305	1.680	1.390	1.459	
	น้ำหนัก (กรัม)	6106.20	6510.20	6309.80	6308.73	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 12	คูกกลาง (มม.)	1.435	1.596	1.382	1.471	1.441
	คูริม (มม.)	1.221	1.664	1.346	1.410	
	น้ำหนัก (กรัม)	5322.80	5853.90	5650.20	5608.97	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุผสมรวม (สัญลักษณ์)		เก้าชานอ้อย (SA15)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		15				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
ข้อมูลก่อนการ ทดสอบ	คูกกลาง (มม.)	1.584	1.565	1.580	1.576	1.604
	คูริม (มม.)	1.596	1.646	1.651	1.631	
	น้ำหนัก (กรัม)	5743.00	5689.90	6084.70	5839.20	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.594	1.583	1.590	1.589	1.616
	คูริม (มม.)	1.618	1.648	1.663	1.643	
	น้ำหนัก (กรัม)	6015.80	5931.10	6303.70	6083.53	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 1	คูกกลาง (มม.)	1.504	1.420	1.495	1.473	1.497
	คูริม (มม.)	1.410	1.620	1.534	1.522	
	น้ำหนัก (กรัม)	5251.60	5103.20	5482.70	5279.17	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.556	1.450	1.552	1.520	1.541
	คูริม (มม.)	1.436	1.667	1.585	1.562	
	น้ำหนัก (กรัม)	5955.30	5851.00	6227.10	6011.13	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 2	คูกกลาง (มม.)	1.463	1.294	1.474	1.410	1.454
	คูริม (มม.)	1.328	1.622	1.543	1.497	
	น้ำหนัก (กรัม)	5230.00	5079.20	5455.20	5254.80	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.518	1.354	1.527	1.466	1.511
	คูริม (มม.)	1.378	1.680	1.608	1.555	
	น้ำหนัก (กรัม)	5956.90	5841.00	6216.50	6004.80	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 3	คูกกลาง (มม.)	1.507	1.343	1.512	1.454	1.501
	คูริม (มม.)	1.368	1.674	1.600	1.547	
	น้ำหนัก (กรัม)	5258.10	5110.20	5487.60	5285.30	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.527	1.361	1.528	1.472	1.519
	คูริม (มม.)	1.387	1.690	1.620	1.566	
	น้ำหนัก (กรัม)	5957.20	5848.20	6223.80	6009.73	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 4	คูกกลาง (มม.)	1.514	1.347	1.512	1.457	1.504
	คูริม (มม.)	1.371	1.676	1.607	1.551	
	น้ำหนัก (กรัม)	5271.20	5117.20	5496.00	5294.80	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบดล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		เก้าชาน้อย (SA15)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		15				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 5	คูกกลาง (มม.)	1.538	1.372	1.527	1.479	1.526
	คูริม (มม.)	1.394	1.696	1.626	1.572	
	น้ำหนัก (กรัม)	5972.60	5862.50	6239.20	6024.77	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 5	คูกกลาง (มม.)	1.514	1.340	1.488	1.447	1.495
	คูริม (มม.)	1.367	1.666	1.596	1.543	
	น้ำหนัก (กรัม)	5262.80	5114.40	5492.60	5289.93	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 6	คูกกลาง (มม.)	1.543	1.375	1.518	1.479	1.526
	คูริม (มม.)	1.392	1.697	1.630	1.573	
	น้ำหนัก (กรัม)	5958.70	5846.30	6221.70	6008.90	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 6	คูกกลาง (มม.)	1.498	1.334	1.464	1.432	1.478
	คูริม (มม.)	1.349	1.644	1.579	1.524	
	น้ำหนัก (กรัม)	5234.40	5087.50	5462.20	5261.37	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 7	คูกกลาง (มม.)	1.533	1.378	1.487	1.466	1.515
	คูริม (มม.)	1.386	1.684	1.622	1.564	
	น้ำหนัก (กรัม)	5957.50	5840.10	6214.30	6003.97	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 7	คูกกลาง (มม.)	1.501	1.349	1.458	1.436	1.487
	คูริม (มม.)	1.376	1.646	1.593	1.538	
	น้ำหนัก (กรัม)	5235.10	5084.40	5461.10	5260.20	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 8	คูกกลาง (มม.)	1.532	1.389	1.480	1.467	1.519
	คูริม (มม.)	1.394	1.686	1.630	1.570	
	น้ำหนัก (กรัม)	5964.00	5854.90	6233.60	6017.50	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 8	คูกกลาง (มม.)	1.524	1.371	1.378	1.424	1.492
	คูริม (มม.)	1.394	1.662	1.626	1.561	
	น้ำหนัก (กรัม)	5274.60	5125.70	5511.90	5304.07	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบดล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		เก้าชาน้อย (SA15)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		15				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 9	คู่กลาง (มม.)	1.536	1.398	1.494	1.476	1.529
	คูริม (มม.)	1.416	1.690	1.640	1.582	
	น้ำหนัก (กรัม)	5962.20	6858.50	6225.60	6348.77	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 9	คู่กลาง (มม.)	1.512	1.384	1.466	1.454	1.508
	คูริม (มม.)	1.398	1.676	1.613	1.562	
	น้ำหนัก (กรัม)	5271.80	5124.10	5503.30	5299.73	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 10	คู่กลาง (มม.)	1.532	1.401	1.494	1.476	1.526
	คูริม (มม.)	1.416	1.686	1.628	1.577	
	น้ำหนัก (กรัม)	5952.90	5842.00	6215.20	6003.37	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 10	คู่กลาง (มม.)	1.511	1.379	1.474	1.455	1.505
	คูริม (มม.)	1.396	1.667	1.601	1.554	
	น้ำหนัก (กรัม)	5265.80	5119.30	5497.50	5294.20	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 11	คู่กลาง (มม.)	1.528	1.398	1.492	1.473	1.525
	คูริม (มม.)	1.430	1.686	1.614	1.576	
	น้ำหนัก (กรัม)	5959.50	5861.10	6241.20	6020.60	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 11	คู่กลาง (มม.)	1.491	1.365	1.460	1.439	1.488
	คูริม (มม.)	1.384	1.656	1.572	1.537	
	น้ำหนัก (กรัม)	5237.40	5094.80	5468.00	5266.73	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 12	คู่กลาง (มม.)	1.509	1.400	1.496	1.468	1.518
	คูริม (มม.)	1.428	1.682	1.596	1.569	
	น้ำหนัก (กรัม)	5953.80	5843.90	6220.30	6006.00	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 12	คู่กลาง (มม.)	1.475	1.362	1.466	1.434	1.484
	คูริม (มม.)	1.391	1.648	1.560	1.533	
	น้ำหนัก (กรัม)	5243.40	5096.40	5472.60	5270.80	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุผสมรวม (สัญลักษณ์)		เก้าชานอ้อย (SA20)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		20				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
ข้อมูลก่อนการ ทดสอบ	คู่กลาง (มม.)	1.526	1.682	1.454	1.554	1.542
	คูริม (มม.)	1.488	1.588	1.512	1.530	
	น้ำหนัก (กรัม)	6034.50	5605.10	5524.80	5721.47	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 1	คู่กลาง (มม.)	1.550	1.683	1.458	1.564	1.554
	คูริม (มม.)	1.503	1.600	1.527	1.543	
	น้ำหนัก (กรัม)	6353.00	5859.20	5843.00	6018.40	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 1	คู่กลาง (มม.)	1.270	1.628	1.352	1.417	1.399
	คูริม (มม.)	1.406	1.441	1.300	1.382	
	น้ำหนัก (กรัม)	5408.10	4998.50	4785.40	5064.00	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 2	คู่กลาง (มม.)	1.351	1.710	1.421	1.494	1.484
	คูริม (มม.)	1.479	1.533	1.409	1.474	
	น้ำหนัก (กรัม)	6282.40	5786.70	5720.80	5929.97	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 2	คู่กลาง (มม.)	1.190	1.616	1.306	1.371	1.370
	คูริม (มม.)	1.390	1.420	1.298	1.369	
	น้ำหนัก (กรัม)	5382.10	4980.60	4767.30	5043.33	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 3	คู่กลาง (มม.)	1.270	1.706	1.396	1.457	1.460
	คูริม (มม.)	1.468	1.511	1.410	1.463	
	น้ำหนัก (กรัม)	6282.60	5782.60	5718.00	5927.73	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 3	คู่กลาง (มม.)	1.226	1.662	1.364	1.417	1.419
	คูริม (มม.)	1.433	1.466	1.360	1.420	
	น้ำหนัก (กรัม)	5416.30	5005.30	4793.30	5071.63	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 4	คู่กลาง (มม.)	1.268	1.710	1.421	1.466	1.470
	คูริม (มม.)	1.472	1.522	1.426	1.473	
	น้ำหนัก (กรัม)	6284.40	5787.50	5720.40	5930.77	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 4	คู่กลาง (มม.)	1.246	1.676	1.385	1.436	1.433
	คูริม (มม.)	1.447	1.482	1.364	1.431	
	น้ำหนัก (กรัม)	5451.80	5012.50	4802.50	5088.93	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบดล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		เก้าชาน้อย (SA20)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		20				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบดล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 5	คูกกลาง (มม.)	1.278	1.718	1.436	1.477	1.479
	คูริม (มม.)	1.469	1.539	1.436	1.482	
	น้ำหนัก (กรัม)	6302.10	5808.50	5736.20	5948.93	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 5	คูกกลาง (มม.)	1.236	1.668	1.380	1.428	1.430
	คูริม (มม.)	1.430	1.480	1.384	1.431	
	น้ำหนัก (กรัม)	5426.60	5015.50	4802.00	5081.37	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 6	คูกกลาง (มม.)	1.271	1.718	1.440	1.476	1.480
	คูริม (มม.)	1.465	1.537	1.446	1.483	
	น้ำหนัก (กรัม)	6289.60	5791.80	5726.20	5935.87	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 6	คูกกลาง (มม.)	1.168	1.643	1.346	1.386	1.397
	คูริม (มม.)	1.402	1.455	1.366	1.408	
	น้ำหนัก (กรัม)	5381.80	4971.20	4760.90	5037.97	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 7	คูกกลาง (มม.)	1.192	1.713	1.428	1.444	1.457
	คูริม (มม.)	1.436	1.525	1.450	1.470	
	น้ำหนัก (กรัม)	6283.50	5780.30	5716.70	5926.83	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 7	คูกกลาง (มม.)	1.118	1.684	1.389	1.397	1.399
	คูริม (มม.)	1.380	1.450	1.374	1.402	
	น้ำหนัก (กรัม)	5376.20	4968.70	4755.50	5033.47	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 8	คูกกลาง (มม.)	1.174	1.712	1.438	1.441	1.452
	คูริม (มม.)	1.428	1.499	1.460	1.462	
	น้ำหนัก (กรัม)	6295.10	5796.90	5728.40	5940.13	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 8	คูกกลาง (มม.)	1.114	1.690	1.390	1.398	1.407
	คูริม (มม.)	1.388	1.459	1.400	1.416	
	น้ำหนัก (กรัม)	5459.80	5019.00	4810.70	5096.50	

ตารางที่ ง.7(ต่อ)

ผลการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้งของคอนกรีตบล็อก

วัสดุมวลรวม (สัญลักษณ์)		เก้าชาน้อย (SA20)				
อัตราส่วนการแทนที่ (ร้อยละ)		20				
การทดสอบ	ตำแหน่งการวัด	คอนกรีตบล็อกก้อนที่				
		1	2	3	เฉลี่ย1	เฉลี่ย2
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 9	คู่กลาง (มม.)	1.202	1.740	1.458	1.466	1.472
	คูริม (มม.)	1.444	1.509	1.478	1.477	
	น้ำหนัก (กรัม)	6288.20	5788.60	5721.00	5932.60	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 9	คู่กลาง (มม.)	1.140	1.677	1.398	1.405	1.407
	คูริม (มม.)	1.382	1.438	1.406	1.408	
	น้ำหนัก (กรัม)	5393.00	4980.90	4768.30	5047.40	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 10	คู่กลาง (มม.)	1.198	1.727	1.456	1.460	1.462
	คูริม (มม.)	1.430	1.483	1.478	1.464	
	น้ำหนัก (กรัม)	6279.50	5785.30	5709.40	5924.73	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 10	คู่กลาง (มม.)	1.162	1.678	1.408	1.416	1.420
	คูริม (มม.)	1.399	1.450	1.426	1.425	
	น้ำหนัก (กรัม)	5398.50	4984.90	4776.60	5053.33	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 11	คู่กลาง (มม.)	1.208	1.736	1.456	1.467	1.471
	คูริม (มม.)	1.432	1.490	1.503	1.475	
	น้ำหนัก (กรัม)	6290.50	5786.20	5716.70	5931.13	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 11	คู่กลาง (มม.)	1.180	1.696	1.414	1.430	1.430
	คูริม (มม.)	1.398	1.440	1.452	1.430	
	น้ำหนัก (กรัม)	5373.20	4966.00	4754.80	5031.33	
แช่น้ำ 5 ชม. รอบที่ 12	คู่กลาง (มม.)	1.201	1.720	1.443	1.455	1.459
	คูริม (มม.)	1.412	1.462	1.515	1.463	
	น้ำหนัก (กรัม)	6283.90	5776.80	5708.30	5923.00	
อบแห้ง 110 C° 42 ชม. รอบที่ 12	คู่กลาง (มม.)	1.178	1.668	1.410	1.419	1.419
	คูริม (มม.)	1.368	1.414	1.476	1.419	
	น้ำหนัก (กรัม)	5378.70	4969.60	4758.20	5035.50	

ภาคผนวก จ

ภาพประกอบการทำวิจัย



ภาพที่ จ.1(ก) วัสดุมวลรวมหินฝุ่น



ภาพที่ จ.1(ข) วัสดุมวลรวมแร่ดินเบา



ภาพที่ จ.1(ค) วัสดุมวลรวมเถ้าขาน้อย

ภาพที่ จ.1

วัสดุมวลรวมที่ใช้ในการทำวิจัย



ภาพที่ จ.2(ก)

เครื่องทดสอบหาขนาดคละของวัสดุผสมรวม(Sieve Analysis)



ภาพที่ จ.2(ข)

ขนาดคละของหินปูน



ภาพที่ จ.2(ค)

ขนาดคละของเถ้าขาน้อย



ภาพที่ จ.2(ง)

ขนาดคละของแร่ดินเบา

ภาพที่ จ.2

แสดงขนาดคละของวัสดุผสมรวม



ภาพที่ จ.3(ก)
ผสมคอนกรีตด้วยเครื่องผสม



ภาพที่ จ.3(ข)
การลำเลียงคอนกรีตจากเครื่องผสมมาที่เครื่องขึ้นรูป



ภาพที่ จ.3(ค)
เครื่องอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก



ภาพที่ จ.3(ง)
การจัดเรียงคอนกรีตบล็อกที่ขึ้นรูปเสร็จ

ภาพที่ จ.3
แสดงขั้นตอนการผลิตคอนกรีตบล็อก



ภาพที่ ๔.๔(ก)
ตัวอย่างตามธรรมชาติ



ภาพที่ ๔.๔(ข)
การทำตัวอย่างให้เปียกโดยการแช่น้ำ



ภาพที่ ๔.๔(ค)
การทำตัวอย่างให้แห้งโดยการอบ



ภาพที่ ๔.๔(ง)
การชั่งตัวอย่างในน้ำ

ภาพที่ ๔.๔
แสดงการชั่งน้ำหนักคอนกรีตบล็อกในสภาวะต่างๆ



ภาพที่ จ.5(ก)

แสดงเครื่องมือทดสอบการนำความร้อน
ของคอนกรีตบล็อก



ภาพที่ จ.5(ข)

แสดงค่าการนำความร้อนที่จุดต่างๆ
ของคอนกรีตบล็อก

ภาพที่ จ.5

แสดงการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก



ภาพที่ จ.6(ก)

ตัวอย่างทดสอบการดูดซับเสียงขนาด
กว้าง 1.77 ม. ยาว 2.01 ม.หนา 0.05 ม.



ภาพที่ จ.6(ข)

ห้องทดสอบการดูดซับเสียงขนาด
กว้าง 3.69 ม. ยาว 4.12 ม.สูง 3.28 ม.

ภาพที่ จ.6

แสดงการทดสอบการดูดซับเสียงของคอนกรีตบล็อก



ภาพที่ จ.7(ก)

แสดงแผ่นเหล็กรองหัวคอนกรีตบล็อกเพื่อกระจายน้ำหนัก



ภาพที่ จ.7(ข)

แสดงการวิบัติของคอนกรีตบล็อกเมื่อถูกทดสอบด้วยแรงอัด

ภาพที่ จ.7

แสดงการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก



ภาพที่ จ.8(ก)
การแช่คอนกรีตบล็อก



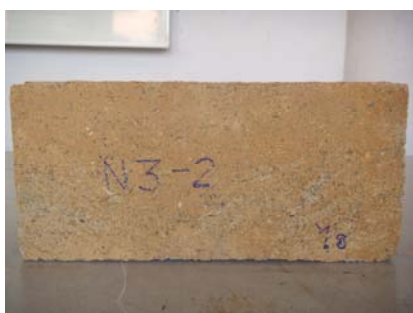
ภาพที่ จ.8(ข) แสดงการตรวจวัด
ค่า pH ของน้ำกรดให้ได้เท่ากับ 1



ภาพที่ จ.8(ค) สภาพคอนกรีตบล็อก
หลังแช่กรดซัลฟูริก 90 วัน



ภาพที่ จ.8(ง) สภาพคอนกรีตบล็อก
หลังแช่กรดไนตริก 90 วัน



ภาพที่ จ.8(จ) สภาพคอนกรีตบล็อก
หลังแช่กรดไฮโดรคลอริก 90 วัน



ภาพที่ จ.8(ฉ) สภาพคอนกรีตบล็อก
หลังแช่กรดอะซิติก 90 วัน

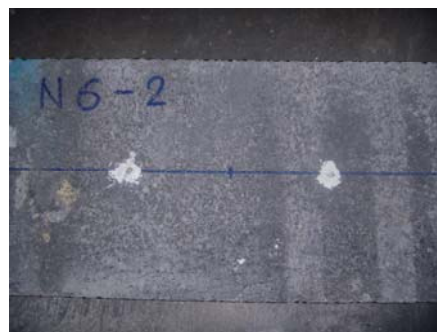
ภาพที่ จ.8

แสดงการทดสอบความทนทานของคอนกรีตบล็อก

ต่อการกัดกร่อนของกรด



ภาพที่ ๙.๙(ก)
วัดระยะด้วยแท่งเหล็กมาตรฐาน



ภาพที่ ๙.๙(ข)
ติดหมุดวัดด้วยกาว EPOXY



ภาพที่ ๙.๙(ค)
อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ๙.๙(ง)
ทำการวัดค่าการหดตัว

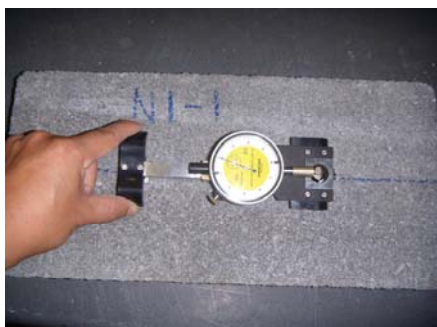
ภาพที่ ๙.๙
แสดงการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตบล็อก



ภาพที่ จ.10(ก)
แช่คอนกรีตบล็อกในน้ำ
เป็นเวลา 5 ชั่วโมง



ภาพที่ จ.10(ข)
อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 42 ชั่วโมง



ภาพที่ จ.10(ค)
ทำการวัดค่าการยืดตัว และหดตัว



ภาพที่ จ.10(ง)
หลังจากการทดสอบ คอนกรีตบล็อก
ยังอยู่ในสภาพสมบูรณ์

ภาพที่ จ.10
แสดงการทดสอบความคงทนต่อสภาพเปียกสลับแห้ง
ของคอนกรีตบล็อก

ประวัติการศึกษา



ชื่อ	นายสุธี จริยธีรเวช
วันเดือนปีเกิด	27 เมษายน พ.ศ. 2512
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์
ประสบการณ์ทำงาน	วิศวกรออกแบบงานโครงสร้าง
ใบประกอบวิชาชีพ	ระดับสามัญวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา

ผลของแร่ดินเบาและถ้ำซานอ้อยต่อคุณสมบัติของคอนกรีตปลั๊กกลวงชนิดไม่รับน้ำหนัก นายสุธี จรรย์ธีรเวช 2552